

# BREVET D'INVENTION

CERTIFICAT D'UTILITÉ - CERTIFICAT D'ADDITION

## COPIE OFFICIELLE

Le Directeur général de l'Institut national de la propriété industrielle certifie que le document ci-annexé est la copie certifiée conforme d'une demande de titre de propriété industrielle déposée à l'Institut.

Fait à Paris, le 23 JUL. 2004

Pour le Directeur général de l'Institut  
national de la propriété industrielle  
Le Chef du Département des brevets

**PRIORITY  
DOCUMENT**  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

Martine PLANCHE

**BEST AVAILABLE COPY**

INSTITUT  
NATIONAL DE  
LA PROPRIÉTÉ  
INDUSTRIELLE

SIEGE  
26 bis, rue de Saint-Petersbourg  
75800 PARIS cedex 08  
Téléphone : 33 (0)1 53 04 53 04  
Télécopie : 33 (0)1 53 04 45 23  
www.inpi.fr



6 bis, rue de Saint Pétersbourg - 75800 Paris Cedex 08

pour vous informer : INPI DIRECT

N° Indigo 0 825 83 85 87

0,15 € TTC/mn

tléecopie : 33 (0)1 53 04 52 65

Réservé à l'INPI

REMISE DES PIÈCES

DATE

21 JUIL 2003

LIEU

75 INPI PARIS

N° D'ENREGISTREMENT

0308861

NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI

DATE DE DÉPÔT ATTRIBUÉE

21 JUIL. 2003

PAR L'INPI

Vos références pour ce dossier

(facultatif) 240555 D21197 JRC

# BREVET D'INVENTION CERTIFICAT D'UTILITÉ

Code de la propriété intellectuelle - Livre VI



N° 11354\*03

## REQUÊTE EN DÉLIVRANCE

page 1/2

BR1

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

08 540 @ W / 030103

### 1 NOM ET ADRESSE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE À QUI LA CORRESPONDANCE DOIT ÊTRE ADRESSÉE

Cabinet REGIMBEAU  
20, rue de Chazelles  
75847 PARIS CEDEX 17  
FRANCE

### Confirmation d'un dépôt par télécopie

☐ N° attribué par l'INPI à la télécopie

### 2 NATURE DE LA DEMANDE

Cochez l'une des 4 cases suivantes

Demande de brevet

☒

Demande de certificat d'utilité

☐

Demande divisionnaire

☐

*Demande de brevet initiale*

N°

Date

*ou demande de certificat d'utilité initiale*

N°

Date

Transformation d'une demande de  
brevet européen *Demande de brevet initiale*

☐

N°

Date

### 3 TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum)

PROCEDE DE POINTE BISPECTRAL DES PARAMETRES DE CORRECTION D'OBLIQUE ANELLIPTIQUE

### 4 DÉCLARATION DE PRIORITÉ

OU REQUÊTE DU BÉNÉFICE DE  
LA DATE DE DÉPÔT D'UNE  
DEMANDE ANTÉRIEURE FRANÇAISE

Pays ou organisation

Date

N°

Pays ou organisation

Date

N°

Pays ou organisation

Date

N°

☐ S'il y a d'autres priorités, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»

### 5 DEMANDEUR (Cochez l'une des 2 cases)

☒ Personne morale ☐ Personne physique

Nom  
ou dénomination sociale  
Prénoms

COMPAGNIE GENERALE DE GEOPHYSIQUE

Forme juridique  
N° SIREN

SOCIETE ANONYME

969202241

Code APE-NAF

1, rue Léon Migaux 91300 MASSY

Domicile  
ou  
siège

Rue

Code postal et ville

Pays

FRANCE

Française

Nationalité

N° de téléphone (facultatif)

N° de télécopie (facultatif)

Adresse électronique (facultatif)

☐ S'il y a plus d'un demandeur, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»

Remplir impérativement la 2<sup>ème</sup> page

<b>REMISE DES PIÈCES</b> DATE <b>21 JUIL 2003</b> LIEU <b>75 INPI PARIS</b> N° D'ENREGISTREMENT <b>0308861</b> NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI		Réservé à l'INPI	
<b>6 MANDATAIRE (s'il y a lieu)</b> Nom <b>240555 JRC</b> Prénom Cabinet ou Société <b>Cabinet REGIMBEAU</b> N° de pouvoir permanent et/ou de lien contractuel Adresse Rue <b>20, rue de Chazelles</b> Code postal et ville <b>75847 PARIS CEDEX 17</b> Pays N° de téléphone (facultatif) N° de télécopie (facultatif) <b>01 44 29 35 00</b> Adresse électronique (facultatif) <b>01 44 29 35 99</b>		DB 540 W / 030103	
<b>7 INVENTEUR (S)</b> Les demandeurs et les inventeurs sont les mêmes personnes <input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non : Dans ce cas remplir le formulaire de Désignation d'inventeur(s)		info@regimbeau.fr Les inventeurs sont nécessairement des personnes physiques	
<b>8 RAPPORT DE RECHERCHE</b> Établissement immédiat ou établissement différé <input checked="" type="checkbox"/> Établissement immédiat <input type="checkbox"/> Établissement différé Paiement échelonné de la redevance (en deux versements) <input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non		Uniquement pour une demande de brevet (y compris division et transformation) Uniquement pour les personnes physiques effectuant elles-mêmes leur propre dépôt	
<b>9 RÉDUCTION DU TAUX DES REDEVANCES</b> <input type="checkbox"/> Requête pour la première fois pour cette invention (joindre un avis de non-imposition) <input type="checkbox"/> Obtenue antérieurement à ce dépôt pour cette invention (joindre une copie de la décision d'admission à l'assistance gratuite ou indiquer sa référence): AG		Uniquement pour les personnes physiques	
<b>10 SÉQUENCES DE NUCLEOTIDES ET/OU D'ACIDES AMINÉS</b> Le support électronique de données est joint <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non La déclaration de conformité de la liste de séquences sur support papier avec le support électronique de données est jointe <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non Si vous avez utilisé l'imprimé «Suite», indiquez le nombre de pages jointes		<input type="checkbox"/> Cochez la case si la description contient une liste de séquences	
<b>11 SIGNATURE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE</b> (Nom et qualité du signataire) 96602 R. Gallon de Chy		<b>VISA DE LA PRÉFECTURE OU DE L'INPI</b> M. ROCHET	

Le domaine d'application de l'invention est celui de la prospection sismique. L'invention concerne plus particulièrement le traitement des traces sismiques d'une collection en point milieu commun.

5 L'invention concerne plus précisément un procédé de détermination des paramètres de vitesse  $V$  et d'anellipticité  $\eta$  nécessaires pour réaliser des traitements comprenant une correction d'obliquité des traces sismiques.

La prospection sismique consiste d'une manière générale, à émettre dans le sous-sol, à l'aide d'une ou plusieurs sources sismiques, des ondes  
10 sismiques, à enregistrer en surface, en fonction du temps, des données sismiques correspondant aux ondes sismiques réfléchies sur les interfaces géologiques du sous-sol (encore appelées réflecteurs) à l'aide de récepteurs (encore appelés géophones ou hydrophones selon que l'on prospecte à terre ou en mer) puis à traiter ces données pour en extraire des  
15 informations utiles quant à la géologie du sous-sol.

On appelle trace sismique l'enregistrement de l'énergie sismique réalisé par chaque récepteur durant l'acquisition des données.

Une technique classique de prospection sismique est la couverture multiple pour laquelle sources et récepteurs sont agencés de telle sorte  
20 qu'un même point milieu (c'est-à-dire le point à égale distance entre la source et le récepteur d'une trace considérée) regroupe plusieurs traces sismiques.

Si les traces sismiques contiennent des informations utiles quant aux réflexions sismiques et à la géologie du sous-sol, elles contiennent  
25 également des composantes de bruit.

L'un des premiers objectifs du traitement des données sismiques est d'éliminer, ou tout du moins d'atténuer, ces composantes non désirées de bruit de telle sorte que les informations utiles puissent être clairement identifiées et interprétées.

30 Une méthode classiquement utilisée afin d'atténuer ces composantes de bruit est la collection en point milieu commun (ou

collection CMP selon l'acronyme de l'expression anglo-saxonne Common MidPoint). Les traces disposant d'un même point milieu sont alors regroupées selon la distance séparant source et récepteur (appelée déport ou « offset » selon la terminologie anglo-saxonne).

5 D'une manière générale, la représentation en image des données sismiques nécessite la mise en œuvre d'un traitement comprenant :

- une opération dite TZO (selon l'acronyme de l'expression anglo-saxonne Transform to Zero Offset) visant à compenser l'effet d'obliquité des trajets en ramenant les temps d'arrivée des réflexions à ceux de traces à déport nul,
- 10 • ainsi qu'une opération de migration visant à restituer les formes correctes des interfaces géologiques.

Si ces opérations de TZO et de migration sont généralement réalisées successivement, elles peuvent aussi être réalisées conjointement. 15 Cela est en particulier le cas lorsque est réalisée une migration temps avant sommation (migration PSTM selon l'acronyme de l'expression anglo-saxonne Pre-Stack Time Migration).

De manière simplifiée, l'opération de TZO permet de simuler l'acquisition des données sismiques par des sources et récepteurs disposés 20 au point milieu commun.

L'objectif est d'additionner les enregistrements illuminant le même point du sous-sol afin d'augmenter le rapport signal sur bruit et le rapport réflexions primaire sur réflexions secondaires, et de bénéficier ainsi des atouts de la « couverture multiple ».

25 Afin de fabriquer l'image à déport nul, une méthode dite de correction d'obliquité ou NMO (correspondant à l'acronyme de l'expression anglo-saxonne Normal Move Out) est mise en œuvre.

Si on fait l'hypothèse d'un sous-sol stratifié horizontalement et sans variation latérale des vitesses de propagation, on montre que les 30 enregistrements ayant la propriété d'éclairer le même point du sous-sol sont ceux ayant le même point milieu.

Cependant l'image d'une réflexion dans le sous-sol arrive à des temps variables selon le déport. Afin d'additionner les réflexions, il faut donc préalablement corriger les différents enregistrements pour les ramener tous à une référence commune, celle de déport nul.

5 Historiquement, la correction d'obliquité repose sur un modèle particulièrement simple du sous-sol : le modèle homogène avec réflecteurs horizontaux.

Dans ce modèle, les réflexions associées à chacun des réflecteurs du sous-sol, s'alignent théoriquement le long d'hyperboles, encore  
10 appelées indicatrices, centrées à la verticale du point milieu.

Le temps d'arrivée d'une réflexion est alors une fonction hyperbolique du déport source-récepteur, le temps le plus court étant celui obtenu à déport nul.

De manière à réaliser la sommation des enregistrements de chaque  
15 collection, la correction NMO redresse les hyperboles afin de les amener théoriquement à l'horizontal.

La correction NMO est alors réalisée en se basant sur l'équation hyperbolique suivante du temps  $t$  de propagation après réflexion, associé à un couple source - récepteur de déport  $x$  :

$$20 \quad t^2 = t_0^2 + \left( \frac{x}{V} \right)^2,$$

dans laquelle  $t_0$  représente le temps de propagation pour un déport nul et  $V$  désigne la vitesse moyenne de propagation des ondes dans le sous-sol.

Le modèle simpliste évoqué ci-dessus s'appuie notamment sur des hypothèses telles que de faibles angles d'incidence et un milieu isotrope.

25 Mais les hypothèses du modèle simpliste sont trop restrictives pour décrire un milieu complexe, et ne peuvent en particulier s'appliquer à la propagation des ondes sismiques dans un milieu anisotrope (milieu dans lequel la vitesse des ondes peut varier selon la direction de propagation).

L'utilisation d'un modèle moins simpliste est rendue nécessaire, en  
30 particulier du fait de :



- l'utilisation de longues flûtes pour l'acquisition en off-shore profond, ce qui conduit en particulier à acquérir des traces à large déport ;
- l'observation d'anisotropie dans les sédiments de type argileux.

L'hypothèse généralement acceptée consiste à modéliser un milieu  
 5 anisotrope comme un empilement de couches isotropes transversalement disposant d'un axe de symétrie vertical. On parle alors d'anisotropie VTI (acronyme de l'expression anglo-saxonne Vertical Transverse Isotropy).

Il a ainsi été proposé de déterminer les corrections d'obliquité devant être réalisée en :

- 10 - introduisant de l'inhomogénéité verticale dans un modèle de milieu VTI homogène, comme cela a été présenté dans le document « ALKHALIFAH, T. et TSVANKIN, I., 1995, Velocity analysis for transversely isotropic media : Geophysics, 60, 1550-1566 » ;  
ou encore, en
- 15 - introduisant de l'anisotropie VTI dans un modèle à couches isotropiques stratifiées, comme cela a été montré dans le document « SILIQI, R. et BOUSQUIE, N., 2000, Anelliptic time processing based on a shifted hyperbola approach, 70th Ann. Internat. Mtg.: Soc. Of Expl.Geophys., 2245-2248 ».

20 Cette seconde approche, combinant inhomogénéité verticale et anisotropie VTI pour fournir un nouveau modèle du sous-sol, semble la meilleure dans la plupart des cas réels étudiés.

L'équation suivante de correction par hyperbole décalée anelliptique du temps  $t$  de propagation après réflexion, associé à un couple source -  
 25 récepteur de déport  $x$ , découle de ce modèle :

$$t(V, \eta) = \frac{8\eta}{1+8\eta} t_0 + \sqrt{\left(\frac{t_0}{1+8\eta}\right)^2 + \frac{x^2}{(1+8\eta)V^2}}, \quad \text{Equation (1a)}$$

où  $V$  représente la vitesse classiquement utilisée en sismique, correspondant à de faibles déports, et  $\eta$  est un paramètre, dit anellipticité.

Il a également été proposé dans le document « SUAUDEAU, E. et  
 30 SILIQI, R., 2001, Anelliptic pre stack time migration, Annual international

Meeting, CSEG Expanded Abstracts » d'inclure la correction d'obliquité par hyperbole décalée anelliptique dans l'équation du temps de trajet utilisée lors de l'opération de migration PSTM.

L'équation de la migration PSTM s'exprime classiquement sous la forme d'une double hyperbole décalée anelliptique, somme de deux racines carrées (équation DSQR, selon l'expression anglo-saxonne Double Square Root).

En tenant compte de l'anellipticité, l'expression de cette équation en déport constant devient la suivante :

$$t = \frac{8\eta}{1+8\eta} t_0 + \sqrt{\left(\frac{t_0/2}{1+8\eta}\right)^2 + \frac{(x-x_m+h)^2}{(1+8\eta)V^2}} + \sqrt{\left(\frac{t_0/2}{1+8\eta}\right)^2 + \frac{(x-x_m-h)^2}{(1+8\eta)V^2}} \quad \text{Equation (1b)}$$

où :

- les paramètres  $V$  et  $\eta$  sont ceux mentionnés ci-dessus,
- $x_m$  représente les coordonnées des points milieux,
- $x-x_m$  représente l'ouverture (ou « aperture ») de la migration,
- $h$  représente le demi-déport source – récepteur,
- $t_0$  représente le temps double à l'ouverture nulle de l'opérateur.

On notera que lorsque l'ouverture  $x-x_m$  de la migration est nulle, l'équation (1b) de correction PSTM devient l'équation (1a) de correction NMO. La correction d'obliquité NMO constitue ainsi un cas particulier de la migration PSTM : celui de la migration PSTM d'ouverture nulle.

Finalement, afin de réaliser un traitement de données sismique comprenant une correction d'obliquité qui tienne compte de l'hétérogénéité verticale et de l'anisotropie de type VTI, il est donc nécessaire de déterminer les deux paramètres de vitesse  $V$  et d'anellipticité  $\eta$

L'estimation desdits paramètres  $V$  et  $\eta$  peut être classiquement réalisée en deux passes telles que :





- au cours de la première passe, la distribution des vitesses  $V$  le long de l'axe des temps est estimée en n'utilisant que les données à déports proches ;
- au cours de la seconde passe, l'anellipticité  $\eta$  est estimée, le long de l'axe des temps, en utilisant :
  - o la distribution des vitesses déterminée au cours de la première passe, et
  - o l'ensemble des données (y compris celles à larges déports).

Il a également été montré dans le document :

- 10 « SILIQI, R., 2001, Technological leap in time processing focuses the data throughout anisotropic media: First Break, 19, n°11, 612-618 », qu'une estimation des paramètres  $V$  et  $\eta$  peut être réalisée en une seule passe, au cours de laquelle on réalise des analyses bispectrales permettant de pointer simultanément les deux paramètres  $V$  et  $\eta$  le long de l'axe des temps, et cela en utilisant toutes les données.

Cependant, les analyses denses des paramètres de correction d'obliquité sont préférablement réalisées lorsque l'équation de correction ne dépend plus du temps  $t_0$  (on parle alors de correction d'obliquité statique).

- Une correction statique permet effectivement de décaler, pour un  
20 déport donné, l'ensemble des échantillons constituant chacune des traces d'un même temps  $\delta t$ .

- Ainsi, lorsqu'une correction statique est réalisée, le nombre de calculs devant être effectués peut être significativement réduit et le phénomène d'étirement des traces est éliminé, ce qui rend viables lesdites  
25 analyses denses.

Seules les analyses de vitesses et d'anellipticité en deux passes peuvent aujourd'hui être mises en œuvre, en particulier grâce à des approximations paraboliques des résiduelles d'obliquité, de manière à obtenir un pointé dense desdits paramètres  $V$  et  $\eta$ .

- 30 Dans ce cadre :

- on estime tout d'abord des vitesses résiduelles, en utilisant les données à faible déport, suite à une première estimation des vitesses ;
- on estime ensuite l'anellipticité, sur toutes les données, en utilisant les mises à jour des vitesses réalisées précédemment.

5 Une loi d'effacement (ou « mute » selon la terminologie anglo-saxonne) doit ainsi être définie, pour l'estimation des vitesses résiduelles, afin de ne conserver parmi l'ensemble des données que celles considérées comme étant à faible déport.

Or l'efficacité de l'analyse en deux passes est particulièrement  
10 sensible au choix d'une telle loi d'effacement.

En outre, ce sont les données à large déport qui sont principalement utilisées pour l'estimation de l'anellipticité  $\eta$ .

Mais, l'estimation de l'anellipticité réalisée pour les données à large déport n'est pas très précise, si bien que la correction réalisée est  
15 finalement imprécise.

Un but de l'invention est de permettre de s'affranchir de ces limitations et inconvénients, en proposant de réaliser un traitement comprenant une correction d'obliquité statique qui soit plus efficace et plus précis.

20 Plus précisément, l'invention a pour objectif la détermination dense des paramètres de vitesse  $V$  et d'anellipticité  $\eta$  en une seule passe utilisant l'ensemble des données disponibles, c'est-à-dire en s'appuyant sur l'ensemble de la gamme de dépports.

A cet effet, l'invention propose un procédé de détermination des  
25 paramètres de vitesse  $V$  et d'anellipticité  $\eta$  pour un traitement de traces sismiques d'une collection à point-milieu commun (CMP) comprenant une correction d'obliquité anelliptique, caractérisé en ce qu'il comporte :

- une étape préliminaire de définition d'une pluralité de nœuds ( $d_{tn}$ ,  $\tau_0$ ), lesdits nœuds étant significatifs de paramètres  $d_{tn}$  et  $\tau_0$
- 30 représentant respectivement la correction d'obliquité pour le déport

maximal et le temps de propagation à déport nul en coordonnées hyperboliques, ladite étape préliminaire étant suivie

- pour chacun des nœuds  $(dtn, \tau_0)$  définis lors de l'étape préliminaire, des étapes de correction d'obliquité des traces de la collection CMP en fonction des valeurs desdits paramètres  $dtn$  et  $\tau_0$  au nœud considéré, et de calcul de la fonction de semblance associée à ladite correction d'obliquité pour le nœud considéré ; et
- pour chaque temps  $t_0$  de pointé, d'une étape comprenant la détermination du nœud  $(dtn(t_0), \tau_0(t_0))$  de semblance maximale,
- et d'une étape finale de conversion des paramètres  $dtn(t_0)$  et  $\tau_0(t_0)$  de manière à obtenir les lois de vitesse  $V(t_0)$  et d'anellipticité  $\eta(t_0)$ .

Selon un premier mode de réalisation de l'invention, le traitement réalisé est une correction d'obliquité NMO statique des traces sismiques.

- 15 Selon un second mode de réalisation de l'invention, le traitement réalisé est une migration PSTM des traces sismiques, ladite migration PSTM comprenant une correction d'obliquité PSTM statique desdites traces sismiques.

- 20 Un aspect préféré, mais non limitatif, du procédé selon l'invention concerne la définition des paramètres  $dtn$  et  $\tau_0$  relativement à la vitesse  $V$  et à l'anellipticité  $\eta$ , de manière à assurer des corrections d'obliquité

statiques, selon  $dtn = \frac{8\eta}{1+8\eta}t_0 + \sqrt{\left(\frac{t_0}{1+8\eta}\right)^2 + \frac{x_{max}^2}{(1+8\eta)V^2}}$  et  $\tau_0 = \frac{t_0}{1+8\eta}$ .

D'autres aspects, buts et avantages de la présente invention apparaîtront mieux à la lecture de la description détaillée suivante, faite en référence aux figures annexées sur lesquelles :

- 25 - la figure 1a représente l'hyperbole anelliptique décalée permettant de réaliser la correction d'obliquité NMO et illustre la signification des paramètres  $\tau_0$  et  $dtn$  ;

- la figure 1b représente l'équation DSQR de la double hyperbole anelliptique décalée de la migration PSTM et illustre la signification des paramètres  $\tau_0$  et dtn ;
- la figure 2 illustre l'effet du paramètre  $\tau_0$  sur la courbe de réflexion corrigée par la correction NMO ;
- les figures 3a et 3b représentent le volume d'analyse ( $t_0$ , dtn,  $\tau_0$ ) dans lequel le pointé bispectral selon l'invention des paramètres dtn et  $\tau_0$  est réalisé ;
- la figure 4 juxtapose chacune des approches ( $V$ ,  $V_{an}$ ) et (dtn,  $\tau_0$ ) en représentant leur panneau respectif d'analyse bispectrale ;
- la figure 5 représente la correspondance entre les deux paires (dtn,  $\tau_0$ ) et ( $V$ ,  $V_{an}$ ) de paramètres de correction d'obliquité ;
- la figure 6 représente une collection CMP de traces sismiques réelles avant correction d'obliquité NMO ainsi que le pointé bispectral des paramètres (dtn,  $\tau_0$ ) correspondant à cette collection de traces ;
- la figure 7 représente la fonction de semblance et les fonctions de vitesse et d'anellipticité déduites du pointé des paramètres dtn et  $\tau_0$  de la figure 6.
- la figure 8a est un organigramme représentant les étapes d'un premier mode de réalisation particulier de l'invention, à savoir la détermination des paramètres  $V_{\eta}$  et  $\eta$  pour réaliser une correction d'obliquité NMO ;
- la figure 8b est un organigramme représentant les étapes d'un second mode de réalisation particulier de l'invention, à savoir la détermination des paramètres  $V$  et  $\eta$  pour réaliser une migration PSTM ;
- la figure 9 est un schéma illustrant les différentes opérations réalisées afin de déterminer les paramètres  $V$  et  $\eta$  permettant d'effectuer une migration PSTM.

Le procédé selon l'invention est de manière générale un procédé de traitement des enregistrements de traces sismiques à déport variable dans

lequel, à partir desdites traces sismiques enregistrées, on constitue des collections de traces en point milieu commun (CMP) et on soumet les traces de chacune des collections à une correction d'obliquité.

Le procédé selon l'invention détermine en particulier les paramètres  
5 de vitesse  $V$  et d'anellipticité  $\eta$  permettant de réaliser un traitement comprenant une telle correction d'obliquité des traces sismiques d'une collection CMP.

Ledit traitement peut par exemple être :

- une correction d'obliquité NMO anelliptique des traces sismiques ;
- 10 • une migration PSTM anelliptique qui, comme on l'a vu précédemment, met conjointement en œuvre les opérations de TZO et de migration (on parlera ci-après de correction d'obliquité PSTM).

La description ci-après concerne plus spécifiquement la correction d'obliquité NMO. On comprendra cependant, notamment au regard des  
15 deux modes de réalisation particuliers de l'invention qui seront détaillés par la suite, que cette description s'applique également à tout traitement comprenant une correction d'obliquité, et notamment un traitement comprenant une correction d'obliquité PSTM.

Afin de réaliser précisément la détermination de  $V$  et de  $\eta$ , deux  
20 nouveaux paramètres  $dt_n$ ,  $\tau_0$  sont considérés :

- $\tau_0$  qui représente le temps de propagation à déport nul en « coordonnées hyperboliques » (cf. figure 1),

$$\tau_0 = \frac{t_0}{1+8\eta} \quad \text{Equation (2)}$$

et,

- 25 •  $dt_n$  qui représente la correction d'obliquité pour le déport  $x_{\max}$  le plus important (cf. figure 1),

$dt_n = t_{x=x_{\max}} - t_{x=0}$ , soit :

$$dt_n = -\frac{8\eta}{1+8\eta}t_0 + \sqrt{\left(\frac{t_0}{1+8\eta}\right)^2 + \frac{x_{\max}^2}{(1+8\eta)V^2}} \quad \text{Equation (3)}$$

Il est important de noter que dtn est défini relativement à la vitesse V et à l'anellipticité  $\eta$ , alors que  $\tau_0$  est un paramètre parfaitement anelliptique défini relativement à l'anellipticité  $\eta$ , indépendant de V.

De la sorte, les paramètres de vitesse V et d'anellipticité  $\eta$  peuvent être calculés, conformément aux équations (2) et (3), en utilisant les équations de conversion (4) et (5) suivantes :

$$V = \frac{x_{\max}}{\sqrt{dtn(dtn + 2\tau_0) \frac{t_0}{\tau_0}}} \quad \text{Equation (4)}$$

$$\text{et, } \eta = \frac{1}{8} \left( \frac{t_0}{\tau_0} - 1 \right) \quad \text{Equation (5)}$$

La figure 1a représente l'hyperbole anelliptique décalée permettant de réaliser la correction d'obliquité NMO et illustre la signification des paramètres  $\tau_0$  et dtn.

Lesdites « coordonnées hyperboliques » sont représentées sur cette figure 1. Leur origine sur l'axe des temps est prise à l'intersection dudit axe des temps avec l'asymptote tangente à ladite hyperbole décalée (cf. équation (1a)) à large offset.

En utilisant les deux paramètres (dtn,  $\tau_0$ ), l'équation (1a) de l'hyperbole anelliptique décalée devient :

$$t = t_0 - \tau_0 + \sqrt{\tau_0^2 + \frac{dtn(dtn + 2\tau_0)}{x_{\max}^2} x^2} \quad \text{Equation (6a)}$$

Les paramètres (dtn,  $\tau_0$ ) définis relativement à la vitesse V à l'anellipticité  $\eta$  permettent ainsi de rendre la correction d'obliquité NMO.  $CORR_{NMO} = t - t_0$  devant être appliquée aux traces de déport x indépendante de  $t_0$  :

$$CORR_{NMO}(x) = -\tau_0 + \sqrt{\tau_0^2 + \frac{dtn(dtn + 2\tau_0)}{x_{\max}^2} x^2} \quad \text{Equation (7a)}$$

Il s'agit donc d'une correction d'obliquité statique. Autrement dit, les données enregistrées sur une trace de déport donnée seront toutes

corrigées de la même manière pour un couple  $(dtn, \tau_0)$ , indépendamment du temps auquel ces données ont été acquises.

Par conséquent, l'estimation des paramètres de vitesse et d'anellipticité n'est pas perturbée par l'étirement (« stretch » selon la terminologie anglo-saxonne) des traces généralement observé lorsque des corrections d'obliquité dynamiques sont réalisées.

De manière similaire, en utilisant les deux paramètres  $(dtn, \tau_0)$ , l'équation (1b) de la double hyperbole décalée DSQR de la migration PSTM anelliptique devient :

$$10 \quad t = t_0 - \tau_0 + \sqrt{\frac{\tau_0^2}{4} + \frac{dtn(dtn + 2\tau_0)(x - x_m + h)^2}{x_{max}^2}} + \sqrt{\frac{\tau_0^2}{4} + \frac{dtn(dtn + 2\tau_0)(x - x_m - h)^2}{x_{max}^2}} \quad \text{Equation (6b)}$$

La figure 1b représente la double hyperbole décalée DSQR de la migration PSTM paramétrée avec les paramètres  $(dtn, \tau_0)$ .

Dans le cadre de la migration PSTM,  $x_{max}$  représente le maximum de déport et d'ouverture de la migration.

15 Les paramètres  $(dtn, \tau_0)$  définis relativement à la vitesse  $V$  et à l'anellipticité  $\eta$  permettent ainsi de rendre la correction d'obliquité PSTM  $CORR_{PSTM} = t - t_0$  devant être appliquée aux traces de déport  $x$  indépendante de  $t_0$  (équation (7b)) :

$$Corr_{PSTM}(x) = -\tau_0 + \sqrt{\frac{\tau_0^2}{4} + \frac{dtn(dtn + 2\tau_0)(x - x_m + h)^2}{x_{max}^2}} + \sqrt{\frac{\tau_0^2}{4} + \frac{dtn(dtn + 2\tau_0)(x - x_m - h)^2}{x_{max}^2}}$$

20 Il s'agit donc d'une correction PSTM statique. Autrement dit, l'ensemble des échantillons d'ouverture  $x - x_m$  d'un cube de traces à déport constant (cube « iso-offset ») est, pour un couple  $(dtn, \tau_0)$  donné, décalé d'un même temps.

En analysant les paramètres  $(dtn, \tau_0)$  en une pluralité de temps de pointé, le procédé selon l'invention permet en particulier de déterminer les paramètres  $(V, \eta)$  nécessaires pour réaliser un traitement comprenant une correction d'obliquité anelliptique des traces d'une collection CMP.

Ledit procédé comporte de manière simplifiée les étapes présentées ci-après.

Au cours d'une étape préliminaire, un volume d'analyse comprenant une pluralité de nœuds ( $d_{tn}, \tau_0$ ) est défini.

- 5        Puis, pour chacun des nœuds de ce volume, on effectue :
- dans un premier temps, selon l'équation (7a), la correction d'obliquité statique des traces de la collection CMP étudiée, en fonction des valeurs des paramètres  $d_{tn}, \tau_0$  au nœud considéré, ladite correction statique étant valable pour n'importe quel temps du pointé ;
  - 10    • dans un second temps, on calcule la semblance, fonction du temps, associée à la correction réalisée à l'étape précédente.

Enfin, pour chaque temps de la pluralité de temps de pointé, on détermine :

- dans un premier temps, le nœud ( $d_{tn}, \tau_0$ ) permettant une correction
- 15    optimale, par exemple au regard du critère de semblance (un tel critère étant classiquement utilisé en traitement sismique pour « mesurer l'horizontalité » des courbes de réflexion et déterminer la fiabilité du pointé) ;
- dans un second temps, on convertit les valeurs des paramètres  $d_{tn}, \tau_0$
- 20    audit nœud de semblance maximale en valeurs des paramètres de vitesse  $V$  et d'anellipticité  $\eta$  audit temps de pointé considéré.

La loi de vitesse (c'est-à-dire l'ensemble des couples (temps du pointé,  $V$ )) et la loi d'anellipticité (ensemble des couples (temps du pointé,  $\eta$ )) sont ainsi établies.

- 25        Finalement la correction d'obliquité de l'ensemble des traces sismiques peut être réalisée en utilisant ces lois de vitesse  $V$  et d'anellipticité  $\eta$  dans l'équation (1a) de l'hyperbole anelliptique décalée.

De manière similaire, et comme cela sera plus particulièrement détaillé par la suite, les paramètres ( $d_{tn}, \tau_0$ ) de la migration PSTM statique

30    (cf. équation (7b)) peuvent également être pointés. Les lois de vitesse  $V$  et



d'anellipticité  $\eta$  sont alors déterminées et peuvent être utilisées, pour réaliser la migration PSTM, dans l'équation (1b) DSQR de la double hyperbole anelliptique décalée.

La figure 2 illustre l'effet du paramètre  $\tau_0$  (et donc, cf. équation (2), de l'anellipticité  $\eta$ ) sur les résidus de courbure après correction d'obliquité NMO.

On notera que l'échelle verticale temporelle de la courbe de la figure 2 est exagérée afin de bien rendre compte de cet effet.

Trois courbes sont représentées sur la figure 2 pour lesquelles le paramètre  $dtn$  est fixé à la valeur correcte et le paramètre  $\tau_0$  prend différentes valeurs.

La courbe centrale représente le cas où  $\tau_0$  est à sa valeur correcte  $\tau_{01}$ , c'est-à-dire lorsque l'anellipticité  $\eta_1$  correspondante est à sa valeur correcte  $\eta_{true}$ . Comme cela est attendu, la courbe de réflexion corrigée est alors horizontale.

La courbe supérieure représente le cas où  $\tau_0$  prend une valeur  $\tau_{02}$  inférieure à sa valeur correcte  $\tau_{01}$ , l'anellipticité  $\eta_2$  correspondante étant supérieure à sa valeur correcte  $\eta_{true}$ .

La courbe inférieure représente quant à elle le cas où  $\tau_0$  prend une valeur  $\tau_{03}$  supérieure à sa valeur correcte  $\tau_{01}$ , l'anellipticité  $\eta_3$  étant inférieure à sa valeur correcte  $\eta_{true}$ .

On remarque de ces courbes inférieure et supérieure que l'« horizontalité » de la courbe de réflexion corrigée est acceptable à faible déport ( $x \approx 0$ ) et à large déport ( $x \approx x_{max}$ ).

En revanche, on observe des résidus de courbure significatifs lorsque le déport  $x$  ne tend pas vers une de ces valeurs limites 0 et  $x_{max}$ . On note en particulier des résidus particulièrement significatifs pour un déport  $x$  centré au milieu de la gamme de déports.

A titre d'exemple, et comme cela apparaît sur la figure 2, lorsque  $\tau_0$  est à  $\tau_{02}$ , une correction résiduelle  $RMO_{\tau_{02}}$  devrait être apportée aux traces de déport  $x_{RMO_{\tau_{02}}}$ . De manière similaire, lorsque  $\tau_0$  est à  $\tau_{03}$ , une correction résiduelle  $RMO_{\tau_{03}}$  devrait être apportée aux traces de déport

5  $x_{RMO_{\tau_{03}}}$ .

Du fait de ces résidus de courbure significatifs, la gamme des déports peut quasiment être utilisée dans son intégralité afin de déterminer l'anellipticité  $\eta$ .

Le paramétrage en  $(dtn, \tau_0)$  de la correction d'obliquité rend donc

10 possible l'utilisation des données disponibles pour l'ensemble des déports ( $x$  compris entre 0 et  $x_{max}$ ) dans la détermination de l'anellipticité  $\eta$ .

Or, comme cela a déjà été évoqué précédemment, cela n'est pas le cas des corrections d'obliquité paramétrées avec  $V$  et  $\eta$  pour lesquelles ce sont essentiellement les données à large déport qui permettent l'estimation

15 de l'anellipticité  $\eta$ .

Ainsi, l'effet du nouveau paramètre anelliptique  $\tau_0$  est distribué sur tous les déports, au contraire de l'anellipticité  $\eta$  qui n'affecte que les larges déports. Le « comportement » du paramètre  $\tau_0$  permet donc de mieux contraindre les valeurs d'anellipticité.

20 Comme cela a déjà été mentionné précédemment, la détermination des paramètres  $dtn$  et  $\tau_0$  optimum est réalisée dans un volume d'analyse 3D  $(t_0, dtn, \tau_0)$ .

On considère dans ledit volume d'analyse une pluralité de nœuds  $(dtn, \tau_0)$ , c'est-à-dire une pluralité de couples de paramètres  $dtn, \tau_0$  dont

25 les valeurs sont connues.

Les nœuds sont généralement espacés régulièrement les uns des autres, d'un incrément  $\Delta dtn$  sur l'axe  $dtn$  et d'un incrément  $\Delta \tau_0$  sur l'axe  $\tau_0$ .



Des valeurs minimales  $dtn_{\min}$ ,  $\tau_{0\min}$ ,  $t_{0\min}$  et maximales  $dtn_{\max}$ ,  $\tau_{0\max}$ ,  $t_{0\max}$  des paramètres respectivement  $dtn$ ,  $\tau_0$  et  $t_0$  permettent de définir les limites dudit volume d'analyse.

De manière avantageuse, des valeurs plausibles des paramètres de vitesse  $V$  et d'anellipticité  $\eta$  peuvent être utilisées afin de définir à l'intérieur dudit volume d'analyse un corridor  $[dtn_{\min}(t_0), dtn_{\max}(t_0)]$ ,  $[\tau_{0\min}(t_0), \tau_{0\max}(t_0)]$ .

Ce corridor permet de restreindre le volume d'analyse et donc le nombre de nœuds  $(dtn, \tau_0)$  devant être considéré pour la détermination du couple  $(dtn, \tau_0)$  optimal.

Si l'utilisation dudit corridor est bénéfique pour l'efficacité du procédé selon l'invention, elle permet également de contraindre la solution vers les bons phénomènes, sans avoir à considérer des couples  $(dtn, \tau_0)$  (et donc des couples  $(V, \eta)$ ) incompatibles, relatifs par exemple à des réflexions multiples ou à divers phénomènes d'interférence.

Les figures 3a et 3b représentent ledit volume d'analyse  $(t_0, dtn, \tau_0)$  dans le cadre d'un exemple de traitement de données sismiques réelles lors d'une correction d'obliquité NMO réalisée selon le procédé de l'invention.

La figure 3a représente trois panneaux 2D a, b et c du volume d'analyse :

- le panneau a est un panneau  $(dtn, \tau_0)$  à  $t_0$  constant ;
- le panneau b est un panneau  $(dtn, t_0)$  à  $\tau_0$  constant ;
- le panneau c est un panneau  $(\tau_0, t_0)$  à  $dtn$  constant.

La figure 3b représente de manière schématique le volume d'analyse 3D  $(t_0, dtn, \tau_0)$  ainsi que trois intersections à ce volume selon trois plans à respectivement  $t_0$ ,  $\tau_0$ ,  $dtn$  constant, chacune de ces intersections étant projetée sur le panneau a, b ou c correspondant de la figure 3a.

Les panneaux ( $dtn, \tau_0$ ) à  $t_0$  constant (panneau a dans l'exemple ci-dessus) sont les panneaux dans lesquels est réalisé le pointé bispectral des paramètres  $dtn$  et  $\tau_0$ , par exemple selon le critère de semblance maximale de la correction d'obliquité, pour le temps de pointé  $t_0$  considéré.

5 Le corridor [ $dtn_{\min}(t_0), dtn_{\max}(t_0)$ ] [ $\tau_{0\min}(t_0), \tau_{0\max}(t_0)$ ] mentionné précédemment pour l'analyse effective à l'intérieur du volume d'analyse est également représenté sur la figure 3a (zone plus claire sur chacun des panneaux).

Le pas d'échantillonnage en temps  $\Delta t_0$  des données sismiques  
10 définit l'écart entre deux temps de pointé successifs (temps pour lesquels on détermine le nœud ( $dtn, \tau_0$ ) de semblance maximale associé) et donc le nombre de panneaux de pointé bispectral devant être considéré.

Le pointé automatique permet ainsi d'extraire les paramètres  $dtn, \tau_0$   
15 en une densité d'autant plus importante que l'incrément  $\Delta t_0$  entre les temps de pointé est faible.

L'échantillonnage des paramètres d'analyse  $dtn$  et  $\tau_0$  est quant à lui directement lié à la résolution de la sismique,  $dtn$  et  $\tau_0$  ayant effectivement les mêmes dimensions que les enregistrements sismiques.

La recherche systématique du maximum de semblance,  
20 classiquement connue en soi, permet de déterminer la paire ( $dtn, \tau_0$ ) procurant, pour un temps de pointé  $t_0$  donné, la meilleure focalisation.

Des interpolations paraboliques autour des valeurs des nœuds ( $dtn, \tau_0$ ) peuvent en outre permettre d'évaluer les valeurs des paramètres  $dtn, \tau_0$  entre les différents nœuds effectivement pointés. Et une telle évaluation  
25 rend en particulier possible la détermination plus précise encore (par opposition à la détermination limitée aux nœuds du corridor) du couple de paramètres  $dtn, \tau_0$  maximisant la fonction de semblance.

Finalement les paramètres de vitesse  $V$  et d'anellipticité  $\eta$  sont déterminés, toujours pour le temps du pointé  $t_0$  considéré, en utilisant les équations de conversion (4) et (5) susmentionnées.

La figure 4 permet de comparer les deux approches ( $V, V_{an}$ ) et ( $dtn, \tau_0$ ) en représentant, pour un temps de pointé donné, leur panneau de pointé bispectral respectif.

La figure de droite illustre approche classique ( $V, V_{an}$ ) pour laquelle les deux axes sont des axes de vitesse (l'anellipticité  $\eta$  étant lié au rapport

de ces deux vitesses selon  $\eta = \frac{1}{8} \left( \frac{V_{an}^4}{V^4} - 1 \right)$ ).

La figure de gauche illustre quant à elle l'approche ( $dtn, \tau_0$ ) selon l'invention pour laquelle les deux axes sont des axes temporels.

Il est important de noter de l'étude de cette figure 4 que les paramètres  $dtn$  et  $\tau_0$ , semblent être décorrélés. Cette « décorrélation » est frappante lorsque l'on compare les deux approches, l'étalement du spectre ( $dtn, \tau_0$ ) étant effectivement beaucoup plus réduit que celui du spectre ( $V, V_{an}$ ).

Le pointé réalisé dans le cadre de l'approche ( $dtn, \tau_0$ ) selon l'invention est donc plus précis que celui classiquement réalisé.

En outre, cette « décorrélation » permet le filtrage des pointés  $dtn$  et  $\tau_0$  séparément, tout en conservant les corrections d'obliquité. Cela n'est pas le cas pour les paramètres  $V$  et  $\eta$  pour lesquels la diminution de l'un des paramètres doit impérativement être compensée par l'augmentation de l'autre, et vice versa.

Et grâce aux interpolations et filtrages individuels des paramètres de l'invention,  $dtn$  et  $\tau_0$ , il est alors possible de réaliser l'interpolation et le filtrage simultanés des paramètres standards  $V$  et  $\eta$  de correction d'obliquité.

La figure 5 représente la correspondance non linéaire, selon les équations (4) et (5) présentées ci-dessus, entre la paire de paramètres temporels ( $dt_n$ ,  $\tau_0$ ) et la paire de paramètre de vitesse ( $V$ ,  $V_{an}$ ).

La figure 6 représente de gauche à droite :

- 5 - une collection CMP de traces sismiques réelles avant correction d'obliquité ;
- le pointé du paramètre  $dt_n$  correspondant à cette collection de traces ;
- le pointé du paramètre  $\tau_0$  correspondant à cette collection de traces.

Sur le pointé du paramètre  $\tau_0$  à droite sur la figure 6, la ligne droite  
10  $\tau_0 = t_0$  correspond aux courbes de réflexion purement hyperboliques.

La figure 7 représente quant à elle, de droite à gauche, la fonction de semblance et les fonctions de vitesse  $V$  et d'anellipticité  $\eta$  déduites (cf. équations (4) et (5)) du pointé des paramètres  $dt_n$  et  $\tau_0$  représenté sur la figure 6.

15 On note, sur cet exemple de traitement de données sismiques réelles, que les valeurs de  $V$ ,  $\eta$  obtenues correspondent pour la plupart à une semblance supérieure à 40%.

La description ci-après détaille deux modes de réalisation particuliers de l'invention.

20 Le premier de ces modes concerne un procédé de détermination des paramètres optimum pour réaliser une correction d'obliquité NMO anelliptique des traces d'une collection CMP (voir les différentes étapes représentées sur l'organigramme de la figure 8a).

En référence à la figure 8a, ce premier mode de réalisation  
25 comprend une étape 1a d'initialisation au cours de laquelle sont réalisées successivement les opérations de :

- détermination des limites du volume d'analyse  $[dt_{n\min}, dt_{n\max}], [\tau_{0\min}, \tau_{0\max}]$  ;

- calcul des corrections d'obliquité  $\text{CORR}_{\text{NMO}}$  (équation (7a)) pour tous les déports et pour tous les nœuds ( $d_{\text{tn}}, \tau_0$ ) inclus dans le volume d'analyse ;
- délimitation à l'intérieur du volume d'analyse du corridor  $[d_{\text{tn}_{\text{min}}}(t_0), d_{\text{tn}_{\text{max}}}(t_0)]$   $[\tau_{0_{\text{min}}}(t_0), \tau_{0_{\text{max}}}(t_0)]$  des valeurs plausibles de vitesse et d'anellipticité ;

Une fois cette étape 1a d'initialisation réalisée, une étape 2a de calcul des lois de vitesse  $V(t_0)$  et d'anellipticité  $\eta(t_0)$  est mise en œuvre pour chaque collection de traces CMP.

10 Cette étape 2a comprend :

- une première opération 3a réalisée pour chaque nœud ( $d_{\text{tn}}, \tau_0$ ) du corridor défini lors de l'étape 1a d'initialisation, au cours de laquelle sont réalisées successivement, pour chaque temps du pointé  $t_0$ , les opérations de :

- 15 - application pour tous les déport, le long du corridor, des corrections  $\text{CORR}_{\text{NMO}}$  d'obliquité statiques pré-calculées lors de l'étape 1a d'initialisation ;
- calcul de la fonction de semblance sur les données corrigées le long du corridor en utilisant une fenêtre temporelle appropriée à l'ondelette dominante ;
- 20 - sommation (calcul du « stack ») des données corrigées le long du corridor (seules les données à faibles déports pouvant avantageusement être pour cela utilisées) ;

- une seconde opération 4a réalisée pour chaque temps  $t_0$  du pointé (lesdits temps étant espacés de  $\Delta t_0$  entre  $[t_{0_{\text{min}}}, t_{0_{\text{max}}}]$ ), au cours de laquelle sont réalisées les opérations de :

- 25 - recherche du maximum de semblance dans le corridor  $[d_{\text{tn}_{\text{min}}}(t_0), d_{\text{tn}_{\text{max}}}(t_0)]$ ,  $[\tau_{0_{\text{min}}}(t_0), \tau_{0_{\text{max}}}(t_0)]$  du panneau bispectral ( $d_{\text{tn}}, \tau_0$ ) ;

- contrôle du fait que la position en  $(dtn, \tau_0)$  du maximum de semblance correspond à un extremum de la sommation pour les mêmes valeurs  $dtn$  et  $\tau_0$  ;
- création des séries  $dtn(t_0)$ ,  $\tau_0(t_0)$  et semblance  $(t_0)$  ;
- 5 • une troisième opération 5a visant à sélectionner et ajuster les pointés obtenus, au cours de laquelle sont réalisées les opérations de :
  - tri croissant de la série semblance $(t_0)$  ;
  - validation des pointés  $dtn$  et  $\tau_0$  pour lesquels la distance en temps aux pointés de semblance plus élevé est supérieure à
  - 10 une valeur prédéfinie ;
  - ajustement des valeurs  $dtn$  et  $\tau_0$  pointées et validées par des interpolations paraboliques utilisant des valeurs alentours ;
  - rétention des valeurs pointées, validées et ajustées si le calcul des vitesses d'intervalle de Dix avec les pointés de
  - 15 semblance plus élevée est possible.
- une quatrième opération 6a visant à convertir, à l'aide des équations (3) et (4), les valeurs de  $dtn$  et  $\tau_0$  pointées, validées, ajustées et retenues au cours de l'opération 5a en lois de vitesse  $V$  et d'anellipticité  $\eta$ .

20 Les lois fonctions du temps de la vitesse  $V$  et de l'anellipticité  $\eta$  sont ainsi parfaitement déterminées. Et la correction d'obliquité NMO anelliptique des traces sismiques de la collection CMP peut ainsi être précisément réalisée.

25 Le second mode de réalisation particulier de l'invention concerne un procédé de détermination des paramètres optimum pour la migration PSTM anelliptique des traces d'une collection CMP.

Ce second mode de réalisation peut être compris comme une généralisation du premier mode discuté ci-dessus.



En effet, comme cela a été montré précédemment, l'utilisation des paramètres ( $dtn$ ,  $\tau_0$ ) permet des corrections d'obliquité PSTM statiques (cf. équation (7b)).

5 Cette utilisation présente, dans le cadre de la correction d'obliquité PSTM, les mêmes avantages que ceux précédemment discutés pour la correction d'obliquité NMO.

Plus précisément, on notera que le premier mode de réalisation n'est qu'un cas particulier du second mode de réalisation correspondant au cas d'une ouverture de migration nulle.

10 En référence à la figure 8b, ledit second mode de réalisation comprend une étape 1b d'initialisation au cours de laquelle sont réalisées successivement les opérations de :

- détermination des limites du volume d'analyse  $[dtn_{min}, dtn_{max}], [\tau_0_{min}, \tau_0_{max}], [t_{0min}, t_{0max}]$  ;
- 15 • calcul des corrections d'obliquité  $CORR_{PSTM}$  (équation (7b)) pour tous les nœuds ( $dtn$ ,  $\tau_0$ ) inclus dans le volume d'analyse et pour tous les dépôts de migration à l'intérieur de l'ouverture de migration ;
- délimitation à l'intérieur du volume d'analyse du corridor  $[dtn_{min}(t_0), dtn_{max}(t_0)], [\tau_0_{min}(t_0), \tau_0_{max}(t_0)]$  des valeurs plausibles de vitesses et d'anellipticité ;
- 20

Une fois cette étape 1b d'initialisation réalisée, ledit premier mode de réalisation met en œuvre, pour chaque collection de traces CMP, une étape 2b de calcul des lois de vitesse  $V(t_0)$  et d'anellipticité  $\eta(t_0)$ .

25 Cette étape 2b comprend :

- une première opération 3b réalisée pour chaque nœud ( $dtn$ ,  $\tau_0$ ) du corridor défini lors de l'étape 1a d'initialisation, au cours de laquelle sont réalisées successivement :
  - pour chaque classe de dépôt, les opérations de :

- application sur tous les points milieu à l'intérieur de l'ouverture de la migration, le long du corridor, s corrections  $CORR_{PSTM}$  statiques pré-calculées lors de l'étape 1b d'initialisation ;
- 5     ▪ sommation des points milieu corrigés le long du corridor ;
- o pour chaque temps du pointé  $t_0$ , les opérations de :
  - calcul de la fonction de semblance sur les données corrigées le long du corridor en utilisant une fenêtre temporelle appropriée à l'ondelette dominante ;
  - 10     ▪ sommation (calcul du « stack ») des données corrigées le long du corridor (seules les données à faibles dépôts pouvant avantageusement être pour cela utilisées) ;
- 15     • une seconde opération 4b réalisée pour chaque temps  $t_0$  du pointé, similaire à l'opération 4a décrite précédemment, visant à créer les séries  $dtn(t_0)$ ,  $\tau_o(t_0)$  et semblance ( $t_0$ ) ;
- une troisième opération 5b, similaire à l'opération 5a décrite précédemment, visant à sélectionner et ajuster les pointés obtenus.
- 20     • une quatrième opération 6b, similaire à l'opération 5a décrite précédemment, visant à convertir les valeurs de  $dtn$  et  $\tau_o$  en lois de vitesse  $V$  et d'anellipticité  $\eta$ .

Les lois fonctions du temps de la vitesse  $V$  et de l'anellipticité  $\eta$  sont ainsi parfaitement déterminées. Et la migration PSTM des traces sismiques de la collection CMP peut ainsi être précisément réalisée.

La figure 9 illustre le second mode de réalisation de l'invention dont il vient d'être fait état.

Les données sismiques sont initialement regroupées en cubes à déport constant (cube iso-déport ou « iso-offset »).

30     Comme cela vient d'être présenté, les corrections d'obliquité  $CORR_{PSTM}$  sont appliquées (cf. première opération de l'étape 3b), pour

chaque classe de déport (soit pour chaque cube iso-déport), sur tous les points milieu. La flèche libellée MIG sur la figure 9 illustre cette opération.

Les points milieux ainsi corrigés sont ensuite sommés au cours de la seconde opération de l'étape 3b, la flèche libellée STACK sur la figure 9

5 illustrant cette opération.

Ces deux opérations MIG et STACK sont spécifiques au second mode de réalisation de l'invention (migration PSTM).

Les opérations suivantes sont en revanche mises en œuvre dans le cadre de chacun des deux modes de réalisation discutés (la correction

10 d'obliquité NMO correspondant, comme on l'a vu, au cas particulier de la migration PSTM d'ouverture de migration nulle).

Pour chaque temps du pointé, la semblance est ensuite calculée (seconde opération de l'étape 3a pour la seule correction d'obliquité, troisième opération de l'étape 3b pour la migration PSTM), la flèche libellée

15 'semblance' sur la figure 9 illustrant cette opération.

Bien entendu, les opération MIG, STACK et de calcul de la semblance sont mises en œuvre pour chaque nœud ( $d_{tn}, \tau_0$ ).

Le 'pointé bispectral automatique' mentionné sur la figure 9 correspond au pointé des paramètres ( $d_{tn}, \tau_0$ ) de semblance maximale pour

20 chaque temps  $t_0$  du pointé (opérations 4a, 4b sur les figures respectivement 8a, 8b). La flèche libellée MAX illustre la recherche du maximum de semblance.

Finalement les pointés des paramètres ( $d_{tn}, \tau_0$ ) pointés sont convertis en lois de vitesse  $V$  et d'anellipticité  $\eta$  (opération 6a, 6b sur les

25 figures 8a, 8b et flèche libellée CONV sur la figure 9).

## REVENDECATIONS

1. Procédé de détermination des paramètres de vitesse  $V$  et d'anellipticité  $\eta$  pour un traitement de traces sismiques d'une collection à point-milieu commun (CMP) comprenant une correction d'obliquité anelliptique, caractérisé en ce qu'il comporte :
  - une étape préliminaire de définition d'une pluralité de nœuds ( $d_{tn}, \tau_0$ ), lesdits nœuds étant significatifs de paramètres  $d_{tn}$  et  $\tau_0$  représentant respectivement la correction d'obliquité pour le déport maximal et le temps de propagation à déport nul en coordonnées hyperboliques, ladite étape préliminaire étant suivie
  - pour chacun des nœuds ( $d_{tn}, \tau_0$ ) définis lors de l'étape préliminaire, des étapes de :
    - correction d'obliquité statique des traces de la collection CMP en fonction des valeurs desdits paramètres  $d_{tn}$  et  $\tau_0$  au nœud considéré, et de
    - calcul de la fonction de semblance associée à ladite correction d'obliquité pour le nœud considéré ; et
  - pour chaque temps  $t_0$  du pointé, d'une étape comprenant la détermination du nœud ( $d_{tn}(t_0), \tau_0(t_0)$ ) de semblance maximale,
  - et d'une étape finale de conversion des paramètres  $d_{tn}(t_0)$  et  $\tau_0(t_0)$  déterminés pour chaque temps  $t_0$  du pointé de manière à obtenir les lois de vitesse  $V(t_0)$  et d'anellipticité  $\eta(t_0)$ .

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que les nœuds sont définis lors de l'étape préliminaire dans un volume d'analyse  $(dtn, \tau_0, t_0)$  déterminé par des valeurs minimales et maximales respectivement  $[dtn_{min}, dtn_{max}]$ ,  $[\tau_{0min}, \tau_{0max}]$  et  $[t_{0min}, t_{0max}]$  des paramètres  $dtn$ ,  $\tau_0$  et  $t_0$ .
3. Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce que, au cours de l'étape préliminaire, un corridor  $[dtn_{min}(t_0), dtn_{max}(t_0)]$ ,  $[\tau_{0min}(t_0), \tau_{0max}(t_0)]$  d'évolution des paramètres  $dtn$  et  $\tau_0$  est délimité à l'intérieur du volume d'analyse en fonction de valeurs plausibles des paramètres de vitesse  $V$  et d'anellipticité  $\eta$ , les nœuds  $(dtn, \tau_0)$  définis pour l'application de la correction d'obliquité étant alors situés le long du corridor ainsi délimité.
4. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que, pour chacun des nœuds  $(dtn, \tau_0)$ , il comporte en outre, suite à l'étape de calcul de la fonction de semblance, une étape de sommation des traces sismiques corrigées.
5. Procédé selon la revendication 4, caractérisé en ce que la sommation des traces corrigées est réalisée en n'utilisant que les traces à faibles déports.
6. Procédé selon l'une des revendications 4 ou 5, caractérisé en ce que, pour chaque temps de pointé, il comporte en outre, suite à l'étape de détermination du nœud de semblance maximale, une étape visant à contrôler que les valeurs  $dtn$  et  $\tau_0$  du nœud de semblance maximale correspondent à un extremum de la sommation pour les mêmes valeurs  $dtn$  et  $\tau_0$ .

7. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comporte en outre, suite à l'étape mise en œuvre pour chaque temps  $t_0$  de pointé pour la détermination du nœud ( $d_{tn}(t_0)$ ,  $\tau_0(t_0)$ ) de  
 5 semblance maximale, et préalablement à l'étape de conversion, une étape de sélection et d'ajustement des pointés effectués.

8. Procédé selon la revendication 7, caractérisé en ce que ladite étape de sélection et d'ajustement des pointés comporte une étape visant à  
 10 ne conserver que les pointés  $d_{tn}$  et  $\tau_0$  pour lesquels la distance en temps aux pointés de semblance plus élevée est supérieure à une valeur prédéfinie.

9. Procédé selon la revendication 8, caractérisé en ce que ladite étape de sélection et d'ajustement des pointés comporte en outre une étape  
 15 visant à ajuster les pointés conservés  $d_{tn}$  et  $\tau_0$  par interpolations paraboliques utilisant des valeurs autour desdites valeurs pointées.

10. Procédé selon la revendication 9, caractérisé en ce que ladite étape de sélection et d'ajustement des pointés comporte en outre une étape  
 20 visant à éliminer les pointés  $d_{tn}$  et  $\tau_0$  conservés et ajustés lorsque le calcul des vitesses d'intervalle de Dix entre le pointé considéré et les pointés de semblance plus élevée est impossible.

25 11. Procédé selon l'une des revendications 1 à 10, caractérisé en ce que le traitement appliqué aux traces sismiques est un traitement de correction d'obliquité NMO mettant en œuvre une correction d'obliquité statique  $CORR_{NMO}$ .

12. Procédé selon la revendication 11, caractérisé en ce que, au cours de l'étape préliminaire, les corrections d'obliquité  $CORR_{NMO}$  sont calculées pour tous les nœuds ( $dtn, \tau_0$ ) inclus dans le volume d'analyse et tous les déports des traces sismiques traitées.

5

13. Procédé selon la revendication 12, caractérisé en ce que l'étape de correction d'obliquité réalisée pour chacun des nœuds ( $dtn, \tau_0$ ) consiste à appliquer les corrections d'obliquité  $CORR_{NMO}$  calculées lors de l'étape préliminaire.

10

14. Procédé selon l'une des revendications 11 à 13, caractérisé en ce que, pour un couple ( $dtn, \tau_0$ ) donné, la correction d'obliquité statique  $CORR_{NMO}$  d'une trace sismique de déport  $x$  est réalisée selon l'équation :

15 
$$CORR_{NMO}(x) = -\tau_0 + \sqrt{\tau_0^2 + \frac{dtn(dtn + 2\tau_0)}{x_{max}^2} x^2}, \text{ dans laquelle } x_{max}$$

représente le déport maximal de la collection CMP.

15. Procédé selon l'une des revendications 1 à 10, caractérisé en ce que le traitement appliqué aux traces sismiques est une migration PSTM mettant en oeuvre une correction d'obliquité statique  $CORR_{PSTM}$ .

20

16. Procédé selon la revendication 15, caractérisé en ce que, au cours de l'étape préliminaire, les corrections d'obliquité  $CORR_{PSTM}$  sont calculées pour tous les nœuds ( $dtn, \tau_0$ ) inclus dans le volume d'analyse et tous les déports de migration à l'intérieur de l'ouverture de la migration.

25

17. Procédé selon la revendication 16, caractérisé en ce que l'étape de correction d'obliquité réalisée pour chacun des nœuds ( $dtn$ ,  $\tau_0$ ) comporte, pour chaque classe de déport, l'application des corrections d'obliquité  $CORR_{PSTM}$  calculées lors de l'étape préliminaire sur tous les points milieu à l'intérieur de l'ouverture de la migration.

18. Procédé selon la revendication 17, caractérisé en ce que l'étape de correction d'obliquité réalisée pour chacun des nœuds ( $dtn$ ,  $\tau_0$ ) comporte en outre, pour chaque classe de déport, suite à ladite application des corrections d'obliquité  $CORR_{PSTM}$ , la sommation des points milieux corrigés.

19. Procédé selon l'une des revendications 15 à 18, caractérisé en ce que, pour un couple ( $dtn$ ,  $\tau_0$ ) donné, la correction d'obliquité statique  $CORR_{PSTM}$  est réalisée selon l'équation :

$$Corr_{PSTM}(x) = -\tau_0 + \sqrt{\frac{\tau_0^2}{4} + \frac{dtn(dtn + 2\tau_0)(x - x_m + h)^2}{x_{max}^2}} + \sqrt{\frac{\tau_0^2}{4} + \frac{dtn(dtn + 2\tau_0)(x - x_m - h)^2}{x_{max}^2}}$$

dans laquelle :

- $x_m$  représente les coordonnées des points milieux,
- $x - x_m$  représente l'ouverture de la migration PSTM,
- $h$  représente le demi-déport source – récepteur,
- $x_{max}$  représente le maximum de déport et d'ouverture de la migration.

20. Procédé selon l'une des revendications 14 ou 19, caractérisé en ce que, au cours de l'étape finale de conversion, les paramètres  $dtn(t_0)$  et  $\tau_0(t_0)$  sont convertis en loi de vitesse  $V(t_0)$  selon l'équation

$$V = \frac{x_{max}}{\sqrt{dtn(dtn + 2\tau_0) \frac{t_0}{\tau_0}}}$$





21. Procédé selon l'une des revendications 14 ou 19, caractérisé en ce que, cours de l'étape finale de conversion, le paramètre  $\tau_0(t_0)$  est converti en loi d'anellipticité  $\eta(t_0)$  selon  $\eta = \frac{1}{8} \left( \frac{t_0}{\tau_0} - 1 \right)$ .

5

22. Procédé selon les revendications 20 et 21, caractérisé en ce que le paramètre dtn est défini relativement à la vitesse V et à l'anellipticité  $\eta$  selon l'équation :

$$\text{dtn} = -\frac{8\eta}{1+8\eta} t_0 + \sqrt{\left( \frac{t_0}{1+8\eta} \right)^2 + \frac{x_{\max}^2}{(1+8\eta)V^2}}.$$

10

23. Procédé selon la revendication 21, caractérisé en ce que le paramètre  $\tau_0$  est défini relativement à l'anellipticité  $\eta$  selon l'équation

$$\tau_0 = \frac{t_0}{1+8\eta}.$$

15

24. Procédé pour caractériser un champ de vitesses en vue d'un traitement de données sismiques à partir d'une collection à point-milieu commun (CMP) de traces sismiques, caractérisé en ce que l'on définit, pour chaque temps  $t_0$  de propagation pour un déport nul, un ensemble de paramètres dtn et  $\tau_0$  représentant respectivement la correction d'obliquité pour le déport maximal et le temps de propagation à déport nul en coordonnées hyperboliques.

20

1/10

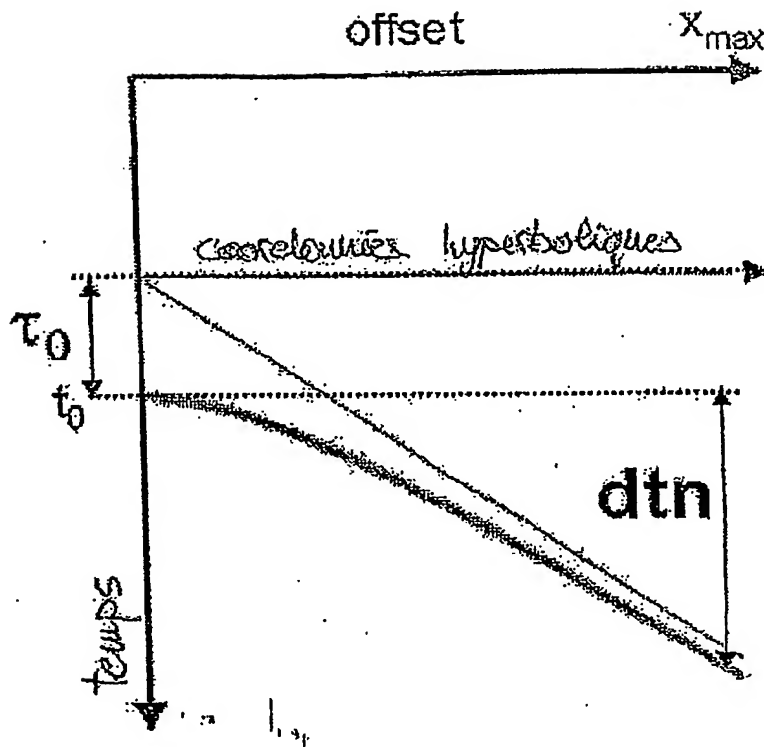


Figure 1a

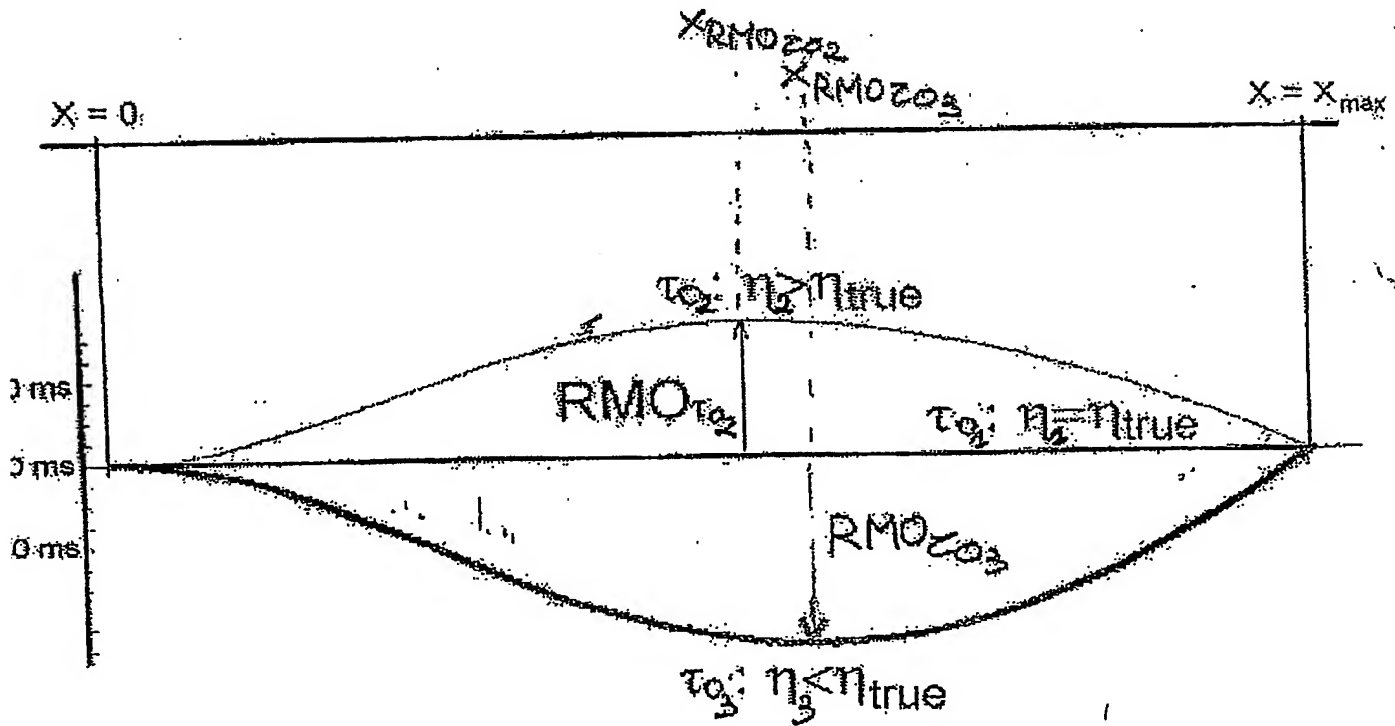


Figure 2

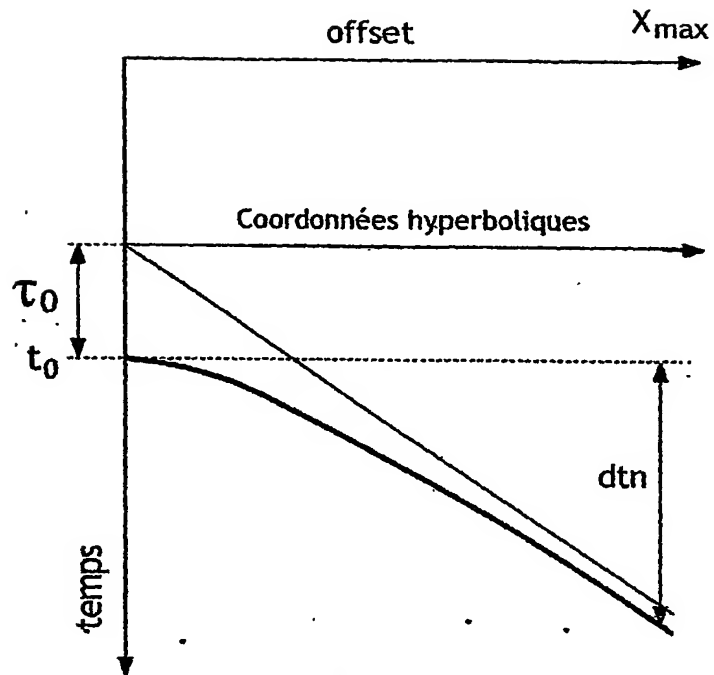


FIG. 1a

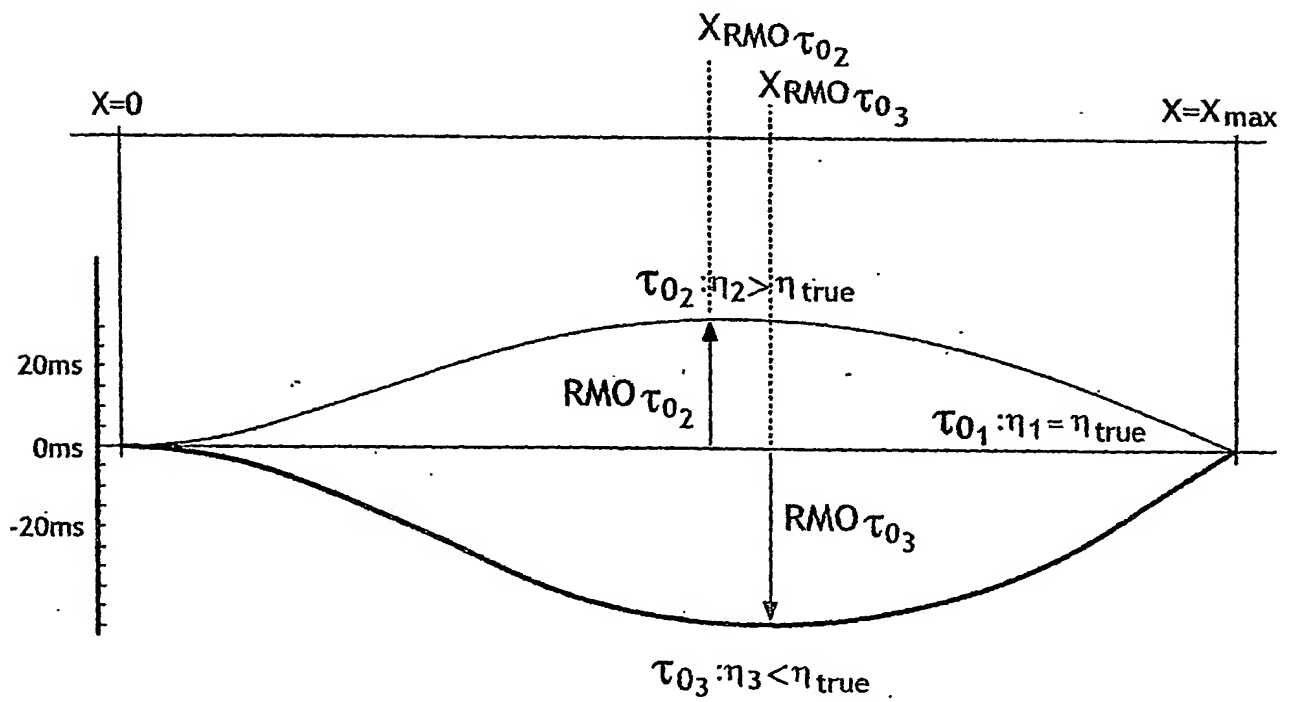
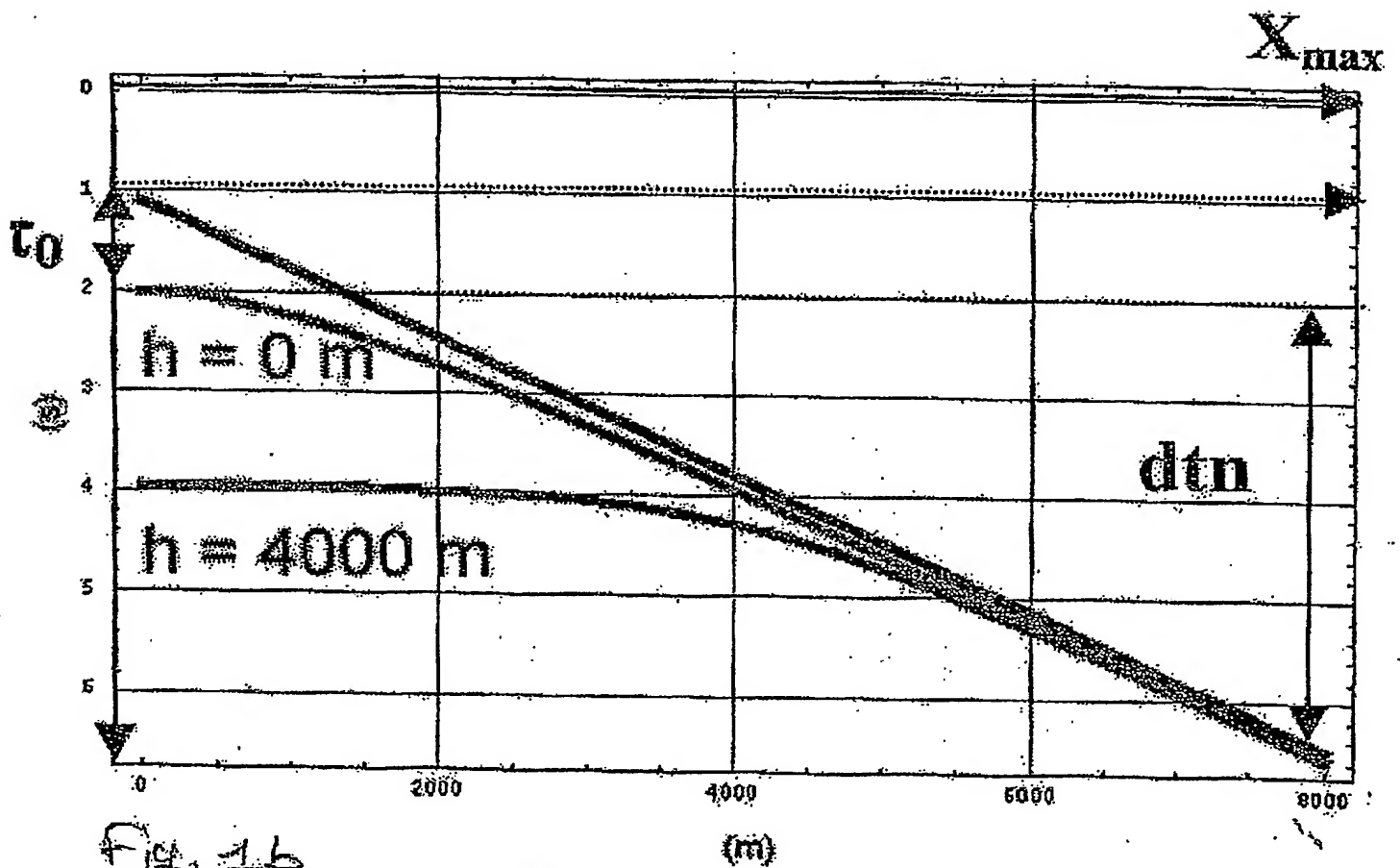


FIG. 2

2/10



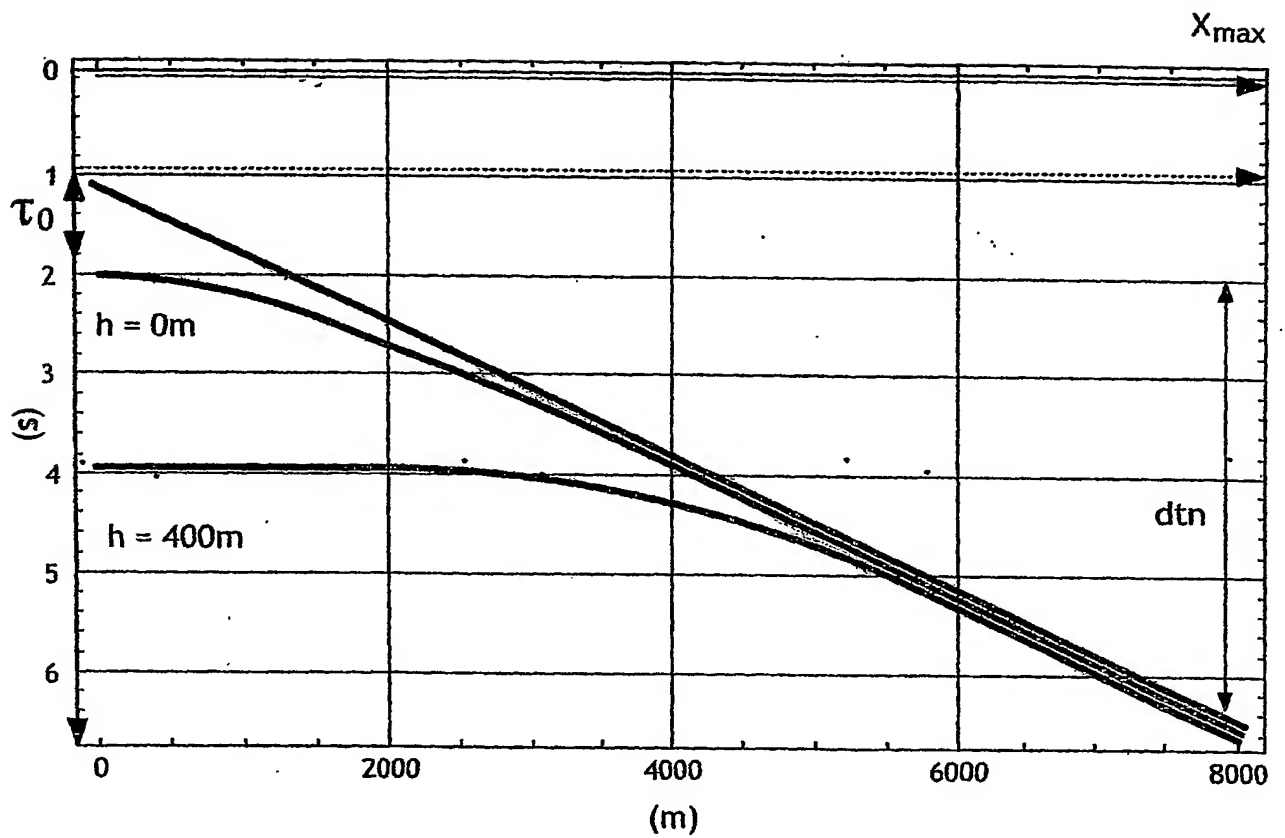


FIG.1b

3/10

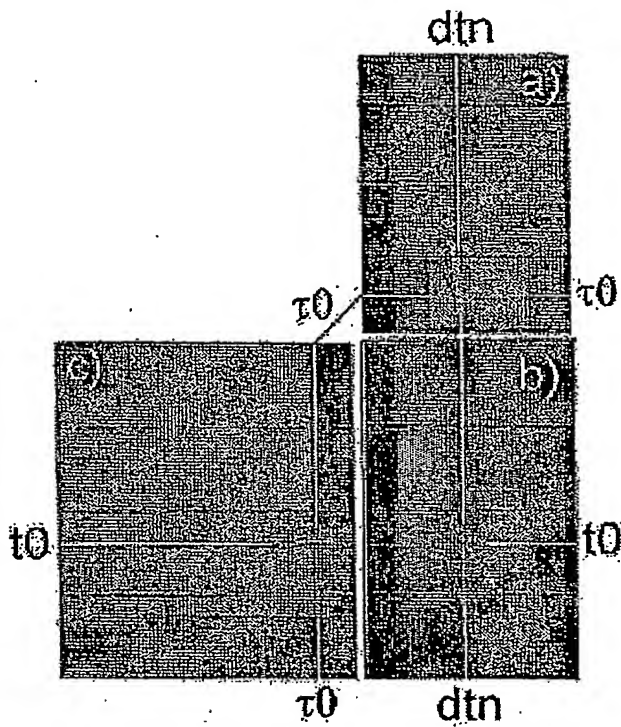


Fig. 3a

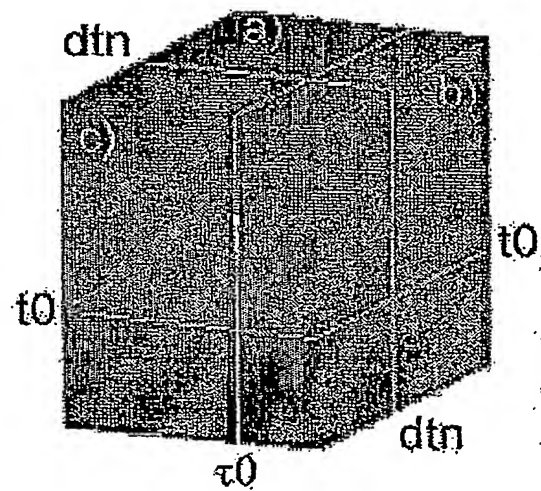


Fig. 3b

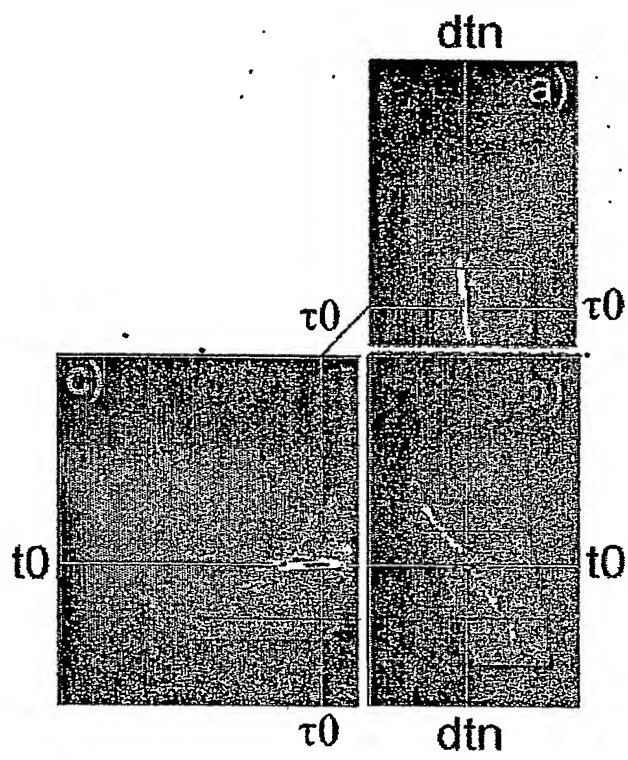


FIG. 3a

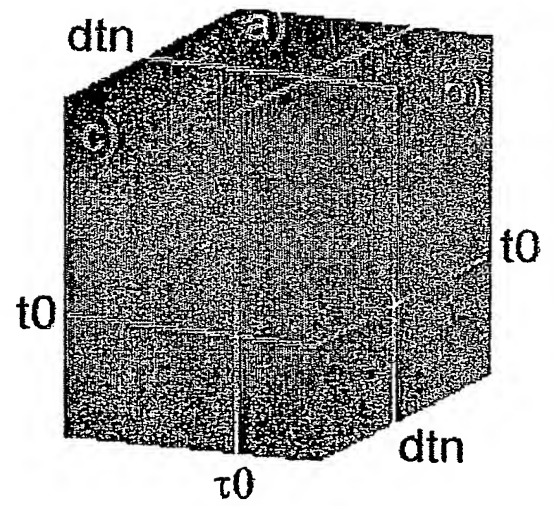


FIG. 3b

4/10

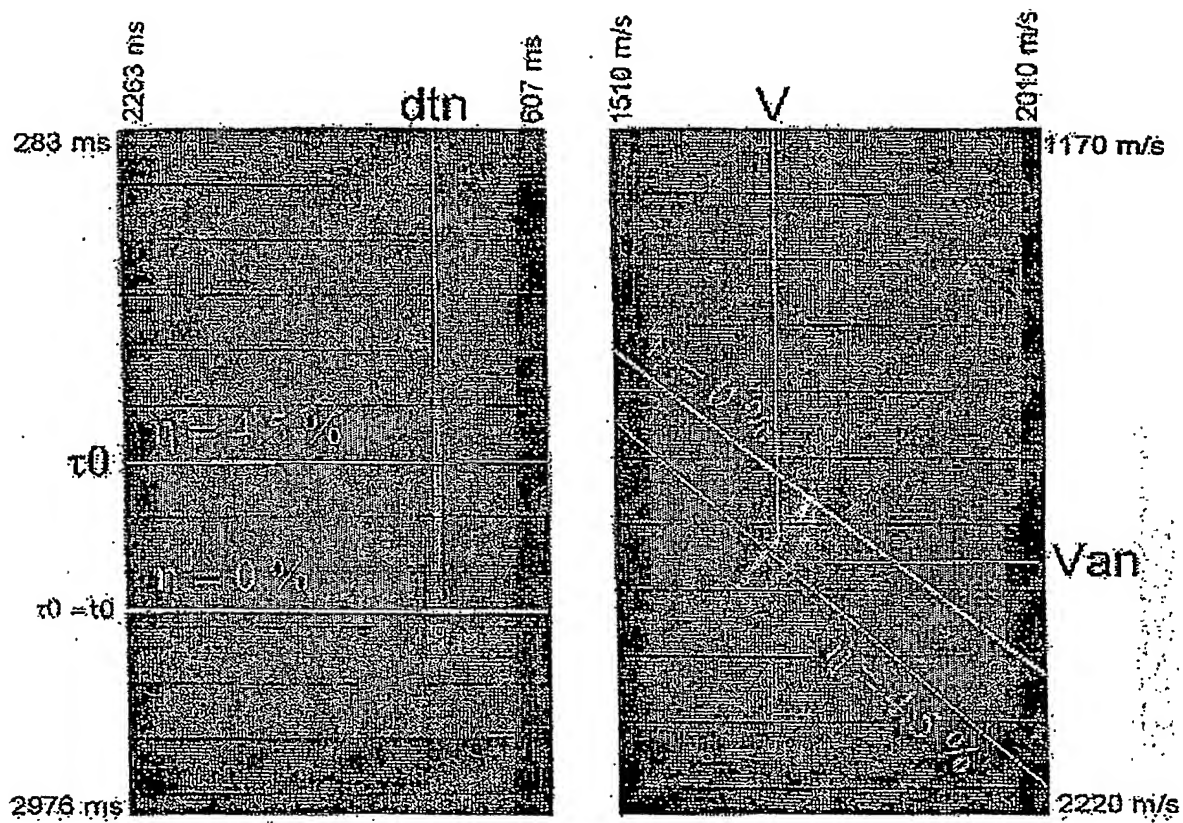


Figure 4



4 / 10

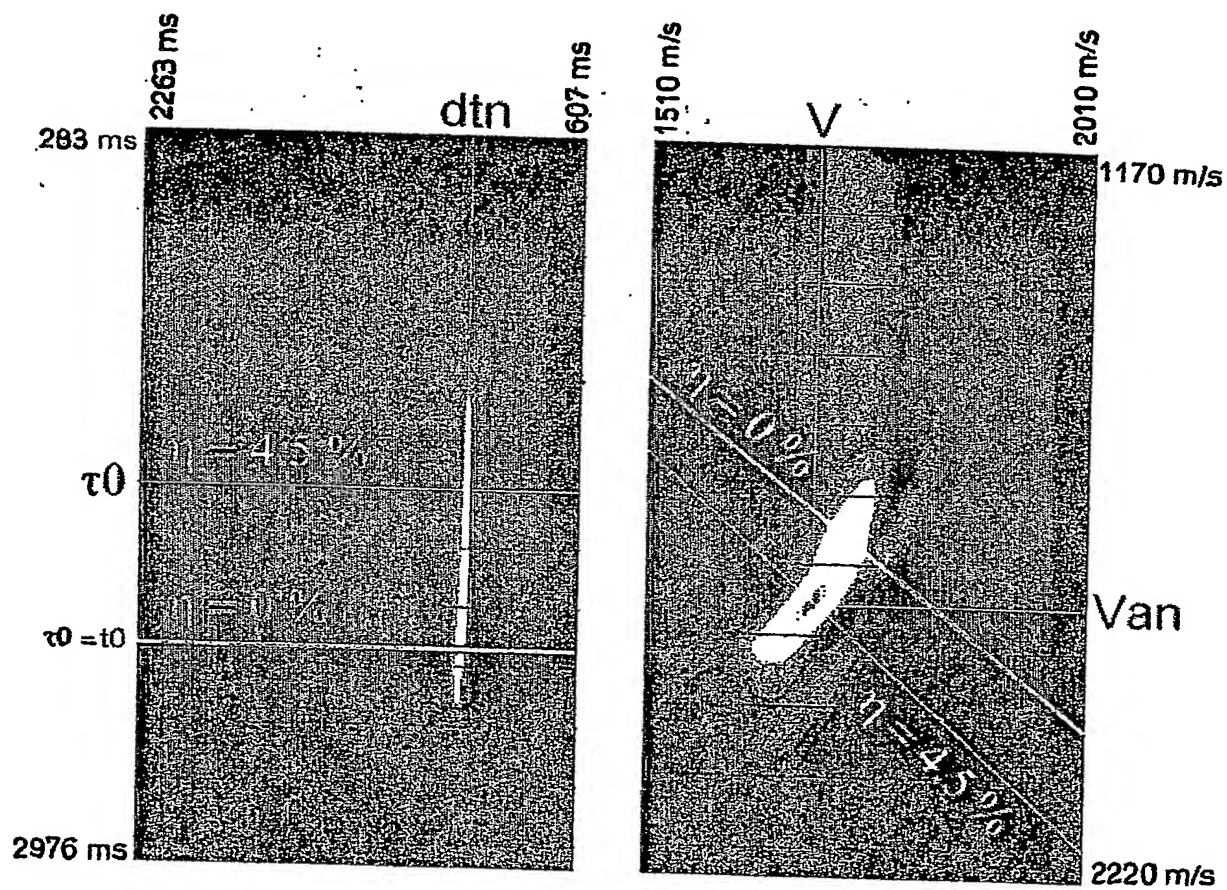


FIG. 4

5/10

Vitesse NMO V

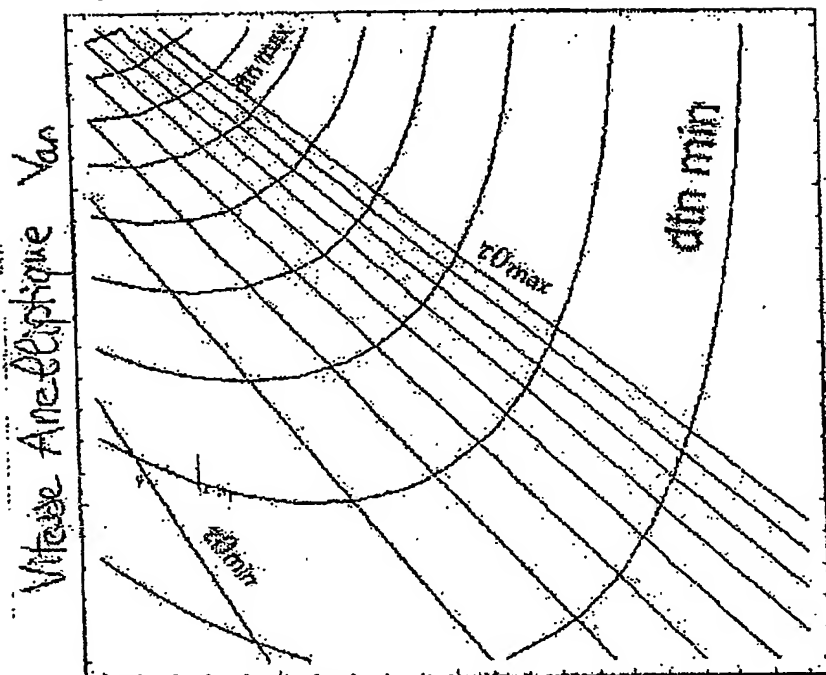


Figure 5

5 / 10

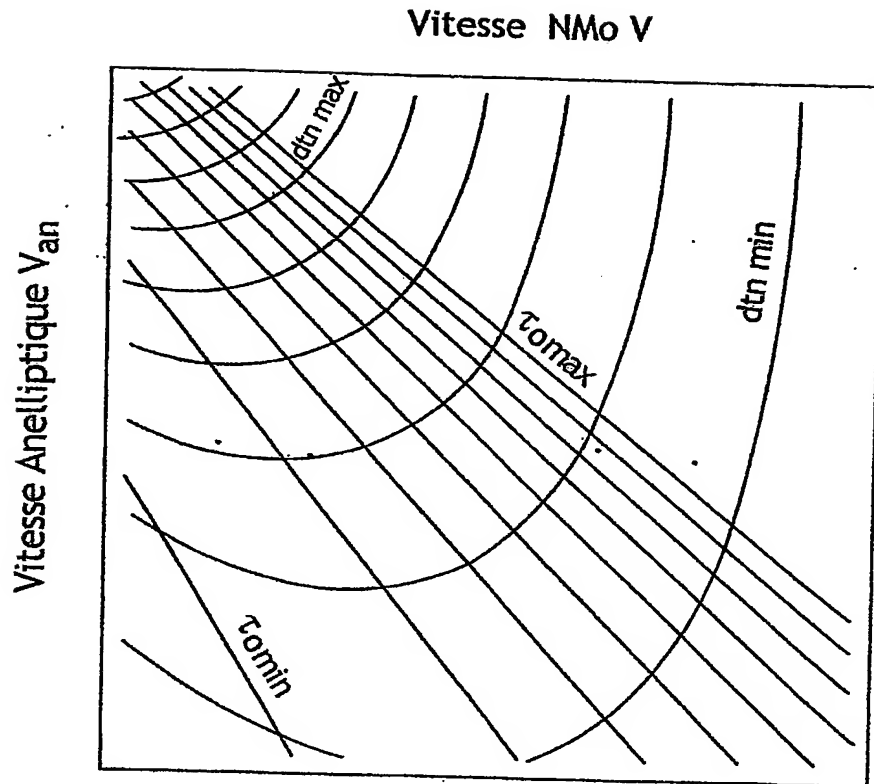


FIG.5

5/10

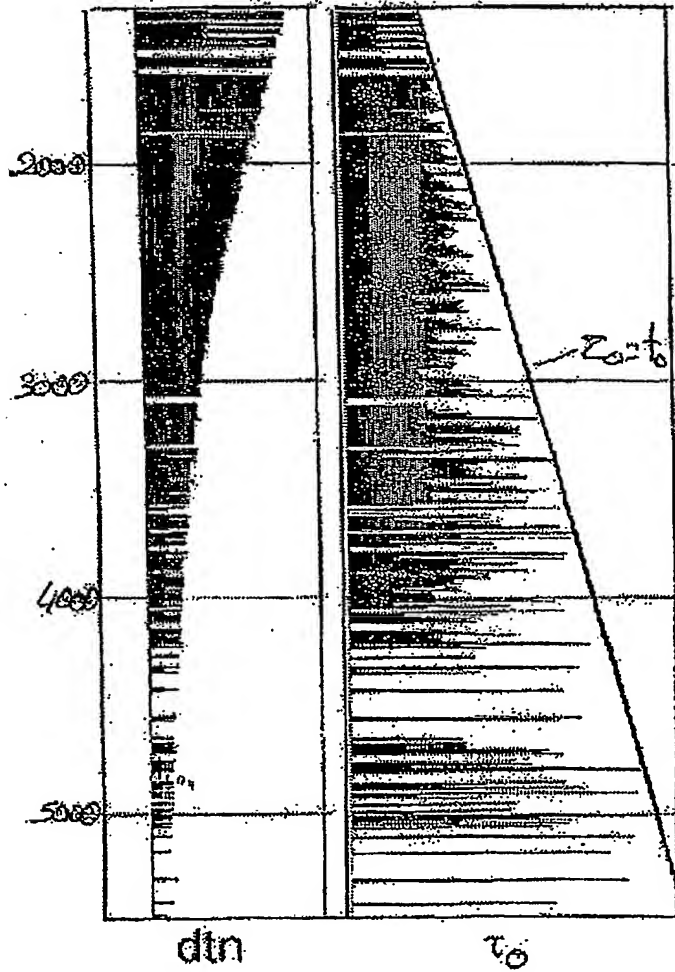
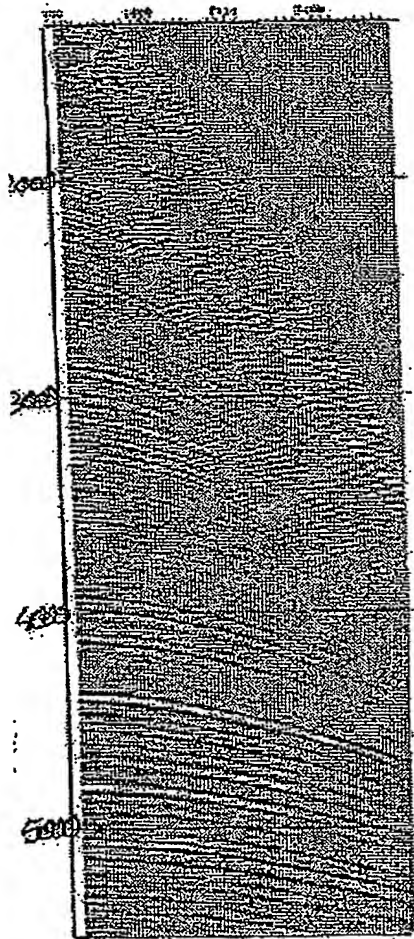


Figure 6

6 / 10

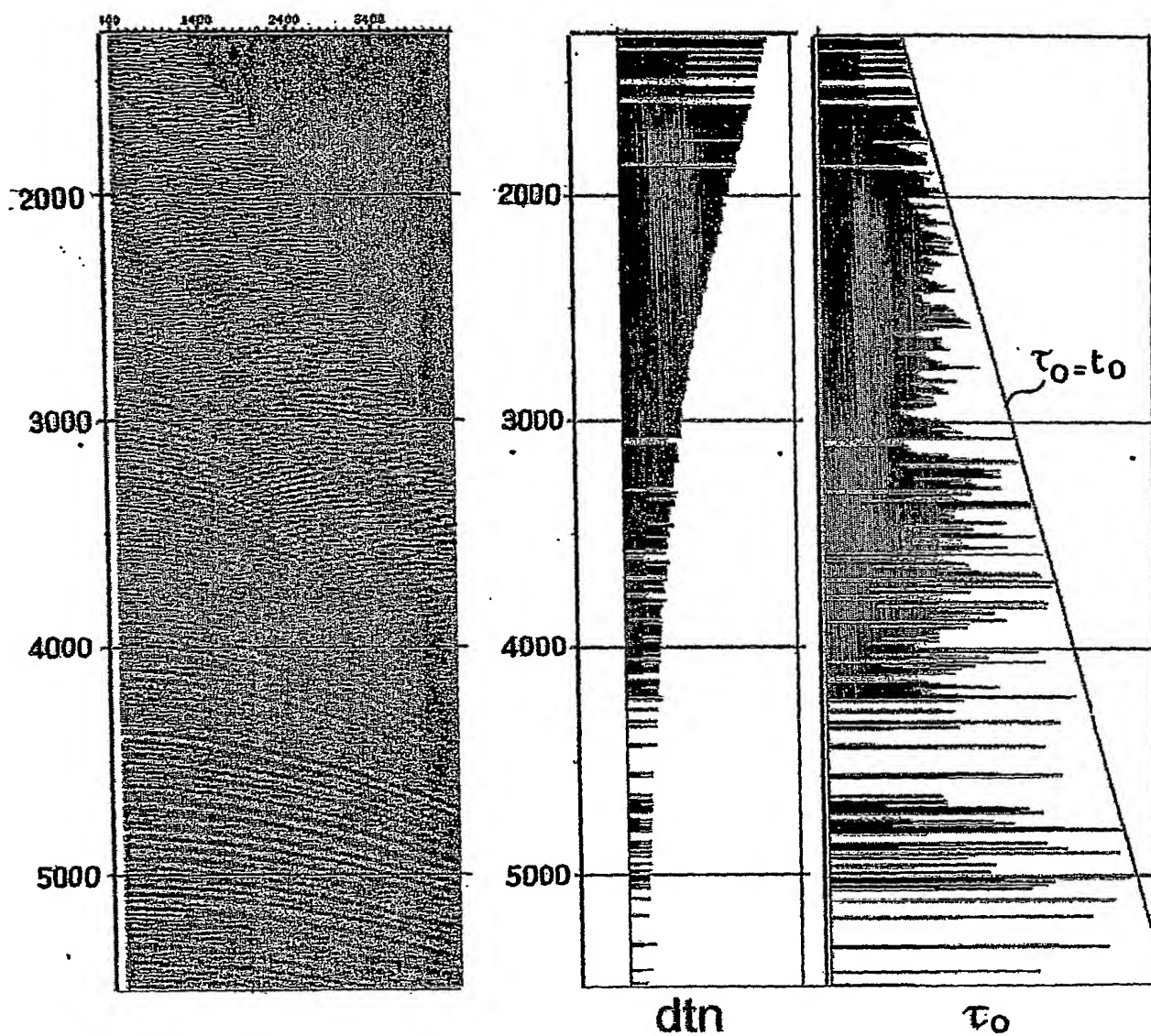


FIG. 6

7/10

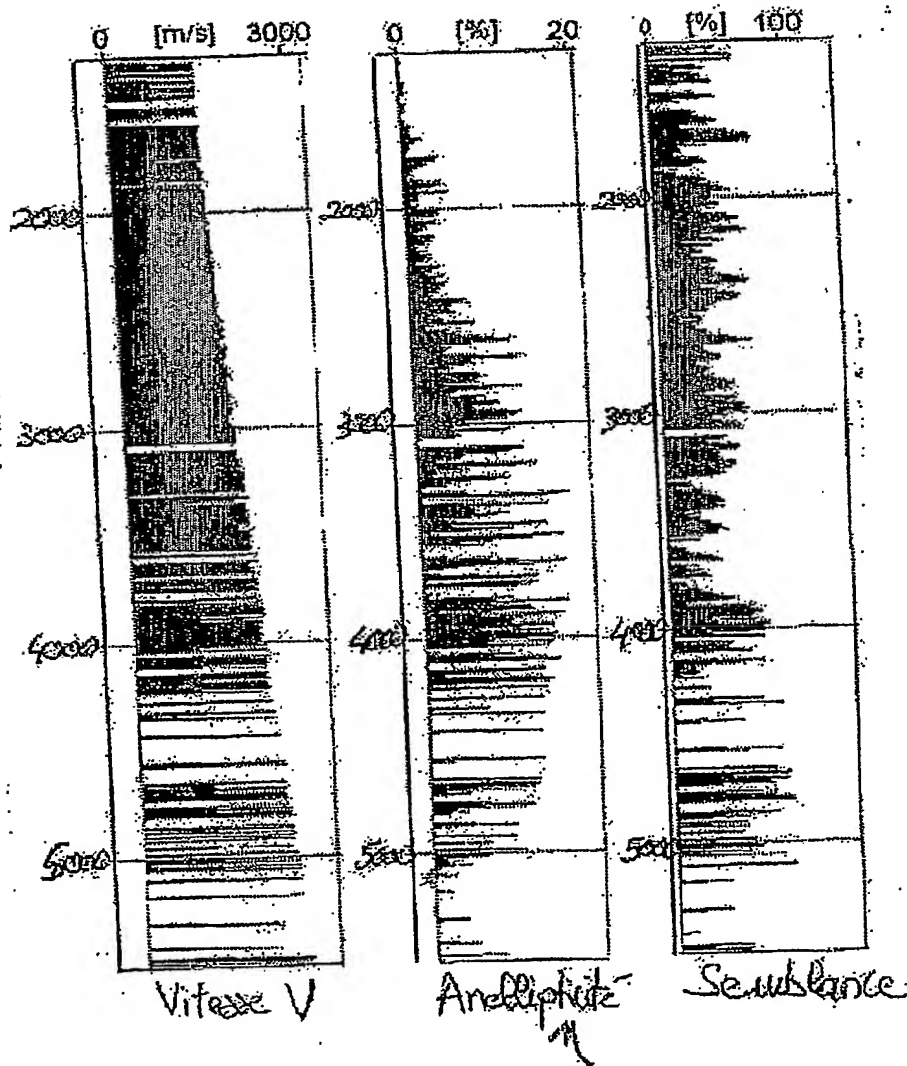


Figure 7

7 / 10

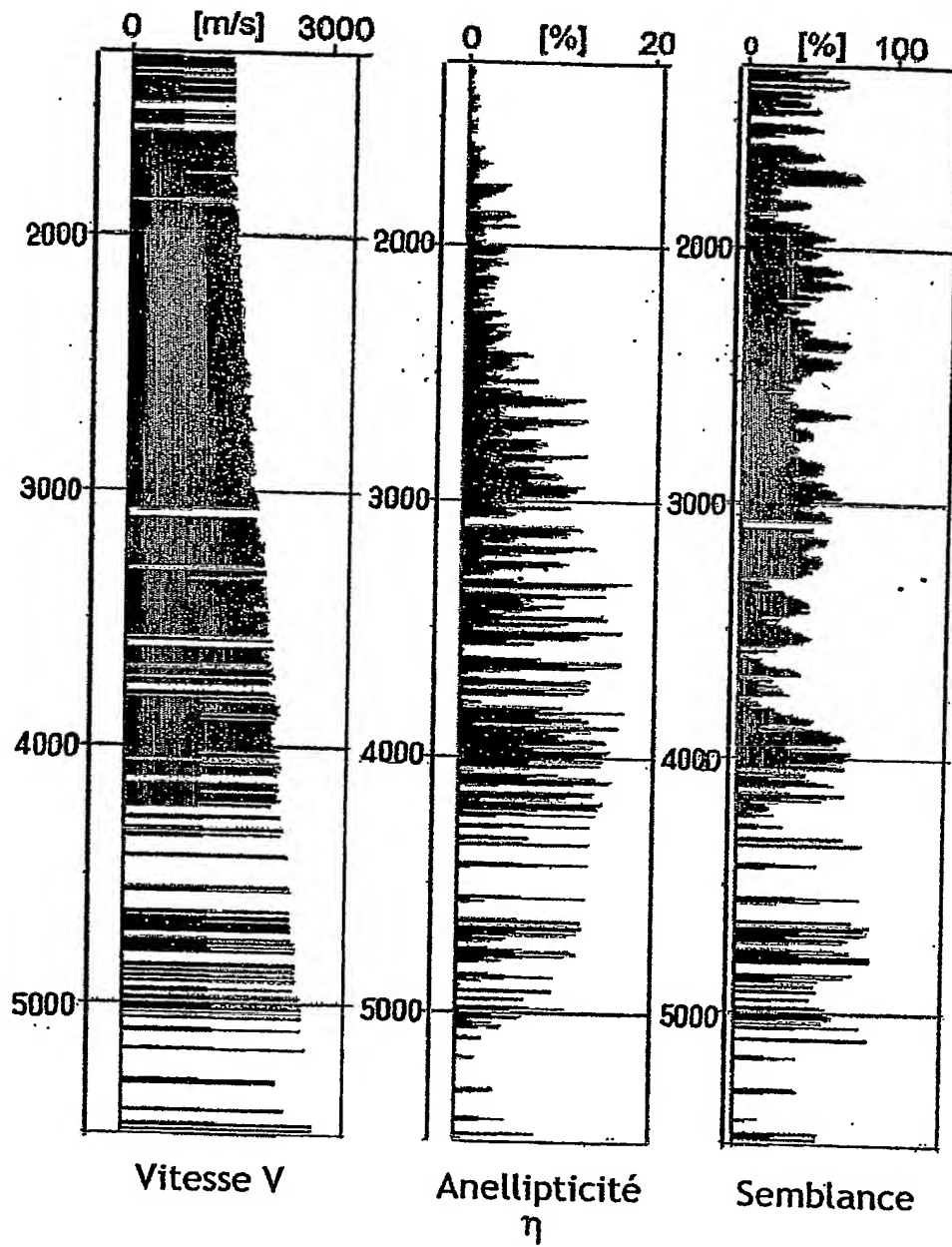
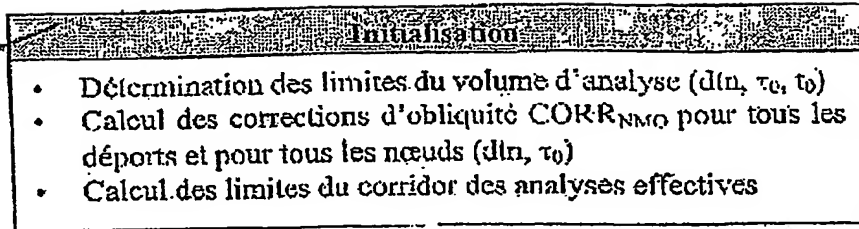


FIG.7

Fig. 8a

840

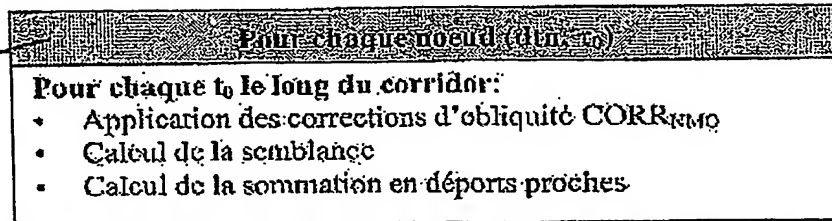
1a



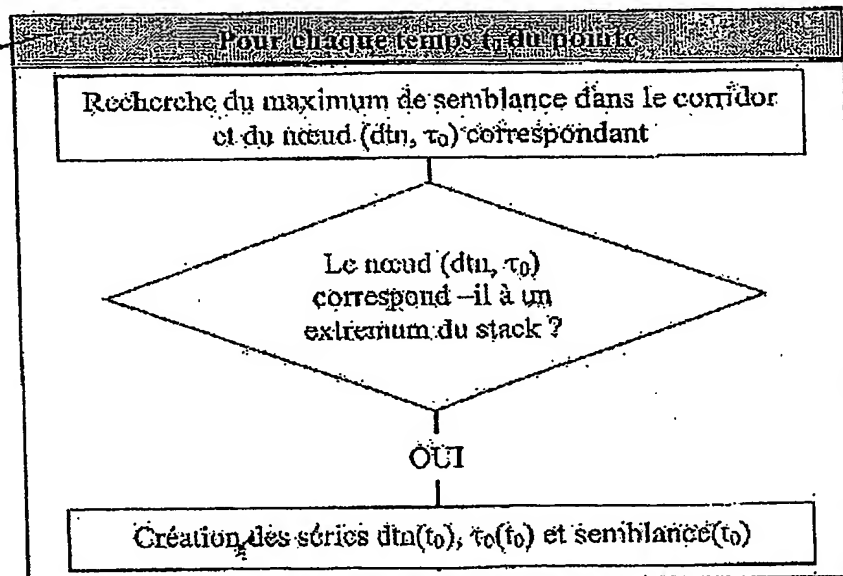
2a

**Pour chaque collection de traces en Point Milieu**

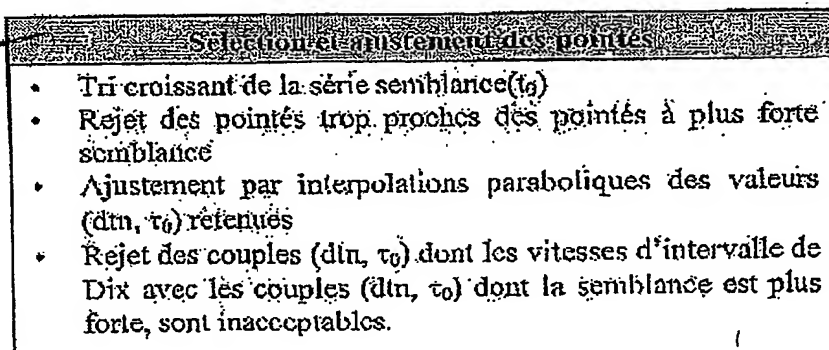
3a



4a



5a

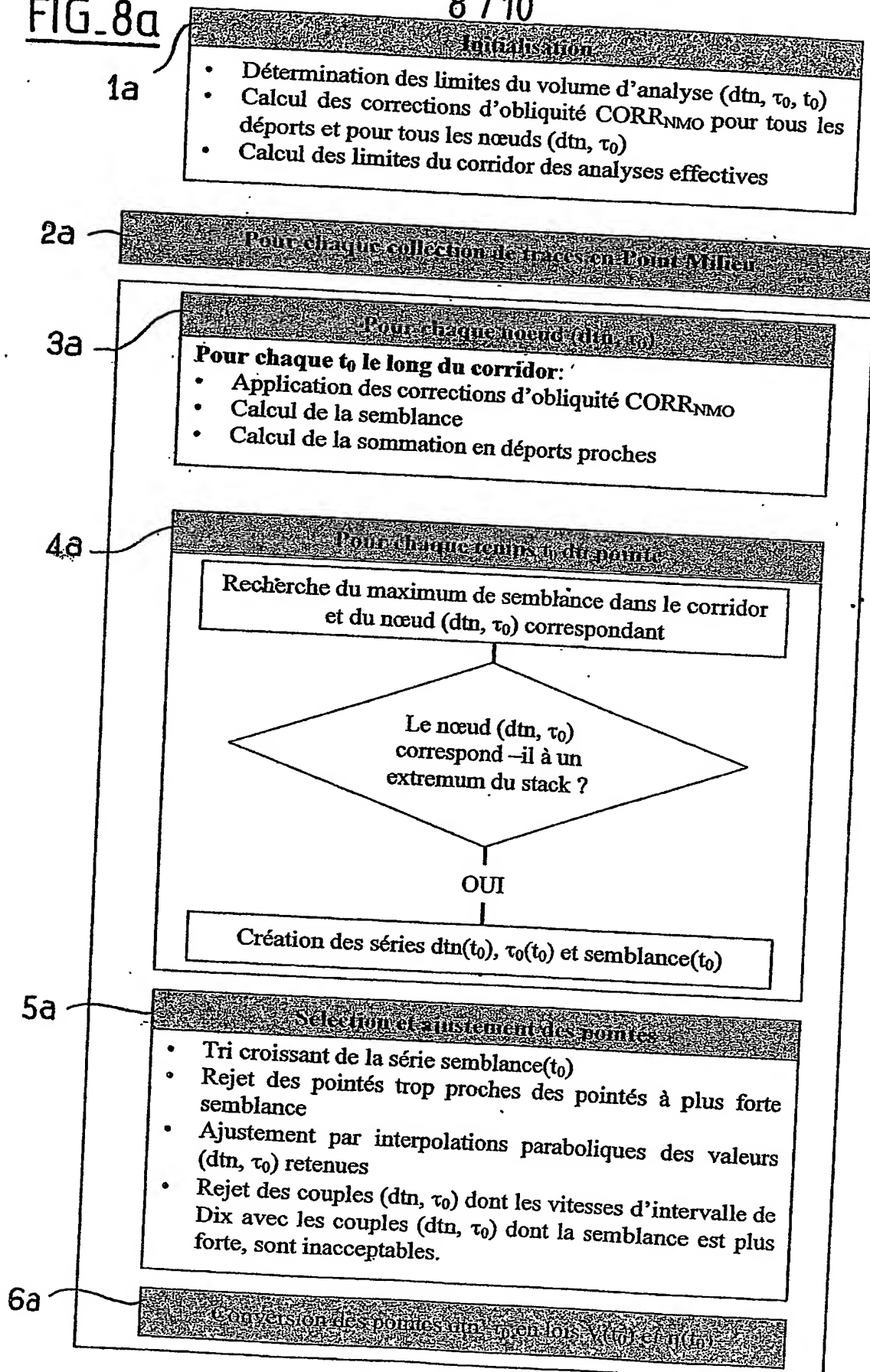


6a





FIG. 8a



## Initialisation

- Détermination des limites du volume d'analyse ( $dtn, \tau_0, t_0$ )
- Calcul des corrections d'obliquité  $CORR_{PSTM}$  pour tous les noeuds ( $dtn, \tau_0$ ) et les dépôts à l'intérieur de l'ouverture de migration
- Calcul des limites du corridor des analyses effectives

## Pour chaque collection de traces en Point Milieu

Pour chaque noeud ( $dtn, \tau_0$ )

## Pour chaque classe de dépôt

- Application sur tous les points milieux à l'intérieur de l'ouverture de la migration, le long du corridor, des corrections d'obliquité  $CORR_{PSTM}$
- Sommation des points milieux corrigés le long du corridor

Pour chaque  $t_0$  le long du corridor:

- Calcul de la semblance
- Calcul de la sommation en dépôts proches

Pour chaque temps  $t_0$  du point

Recherche du maximum de semblance dans le corridor  
et du noeud ( $dtn, \tau_0$ ) correspondant

Le noeud ( $dtn, \tau_0$ )  
correspond-il à un  
extremum du stack ?

OUI

Création des séries  $dtn(t_0), \tau_0(t_0)$  et  $semblance(t_0)$

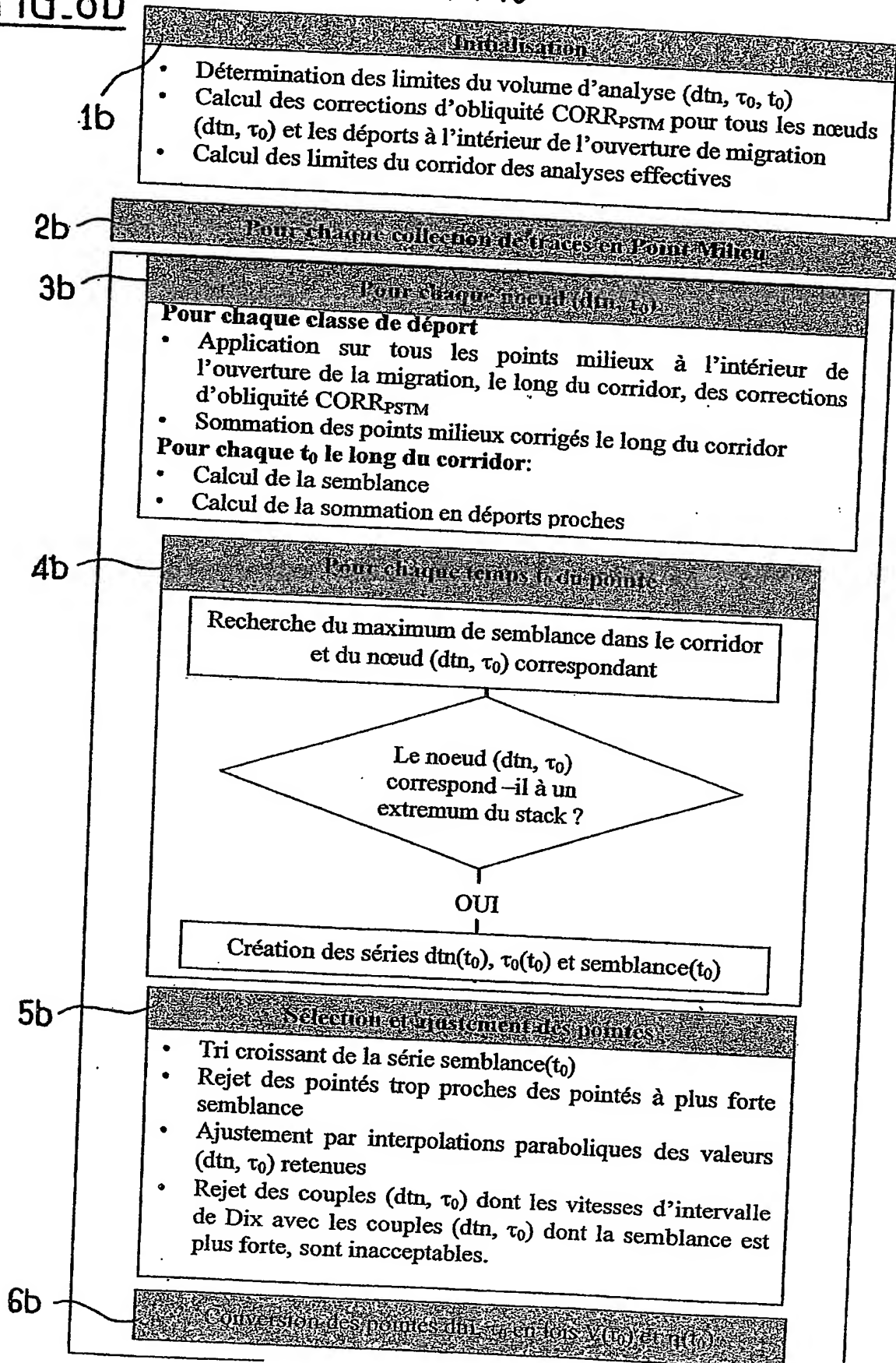
## Sélection et ajustement des points

- Tri croissant de la série  $semblance(t_0)$
- Rejet des pointés trop proches des pointés à plus forte semblance
- Ajustement par interpolations paraboliques des valeurs ( $dtn, \tau_0$ ) retenues
- Rejet des couples ( $dtn, \tau_0$ ) dont les vitesses d'intervalle de Dix avec les couples ( $dtn, \tau_0$ ) dont la semblance est plus forte, sont inacceptables.

Conversion des points  $dtn, \tau_0$  en lois  $\lambda(t_0)$  et  $\eta(t_0)$

FIG. 8b

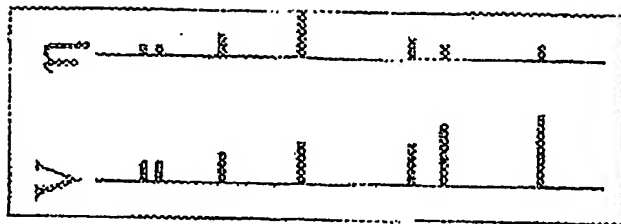
9 / 10



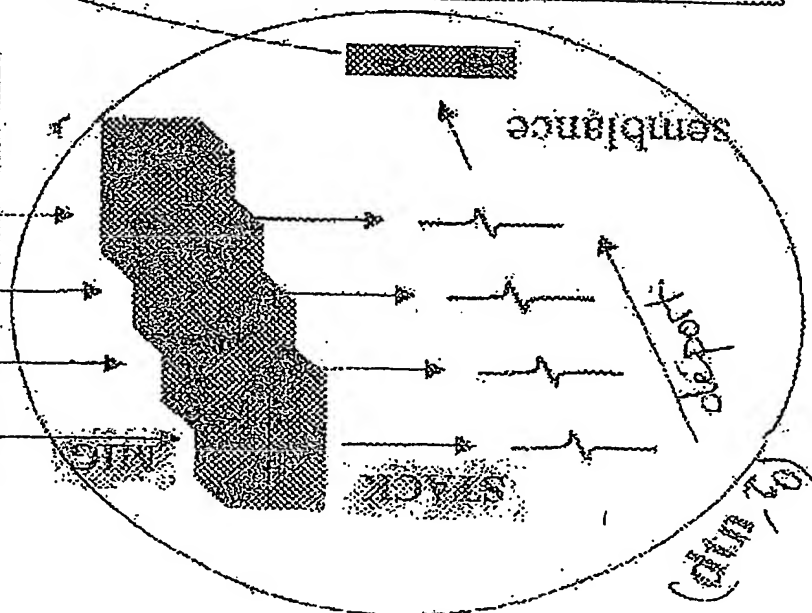
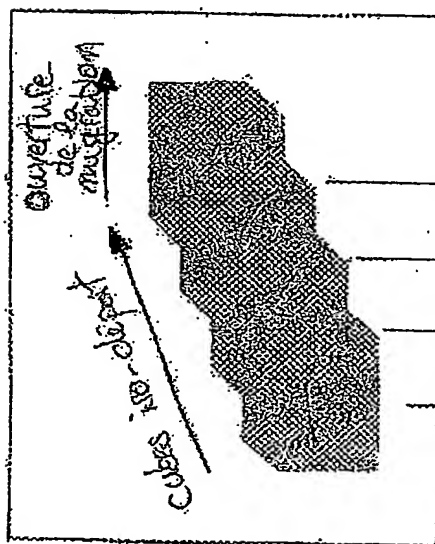
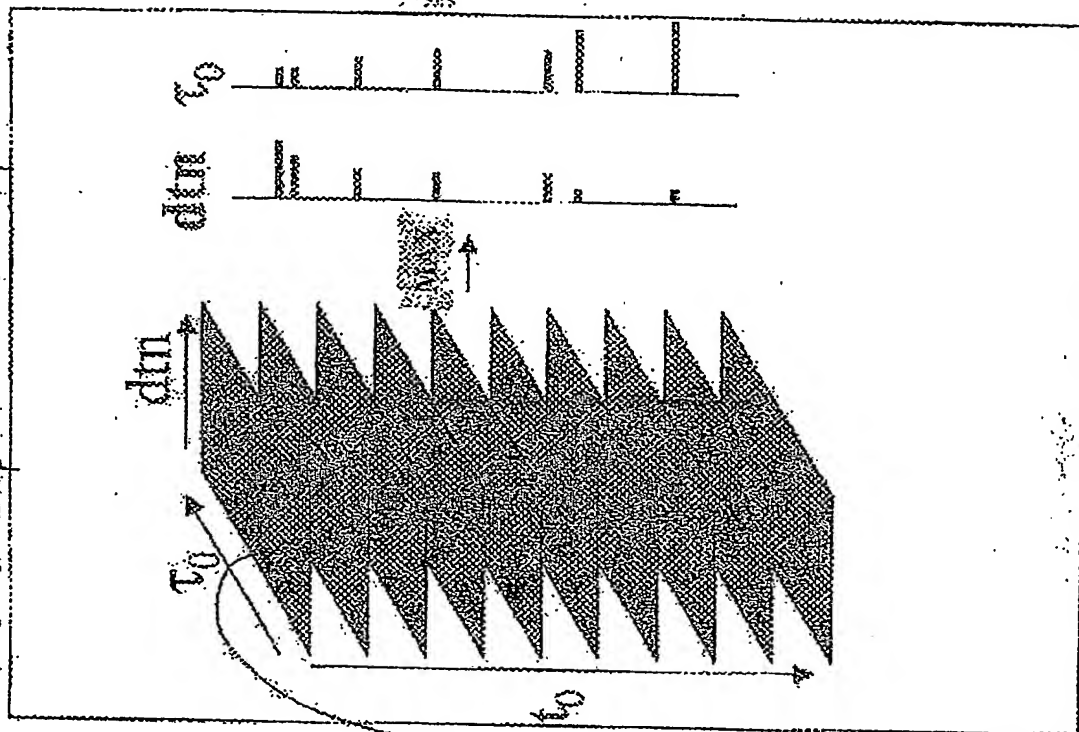
10/10

Fig. 19

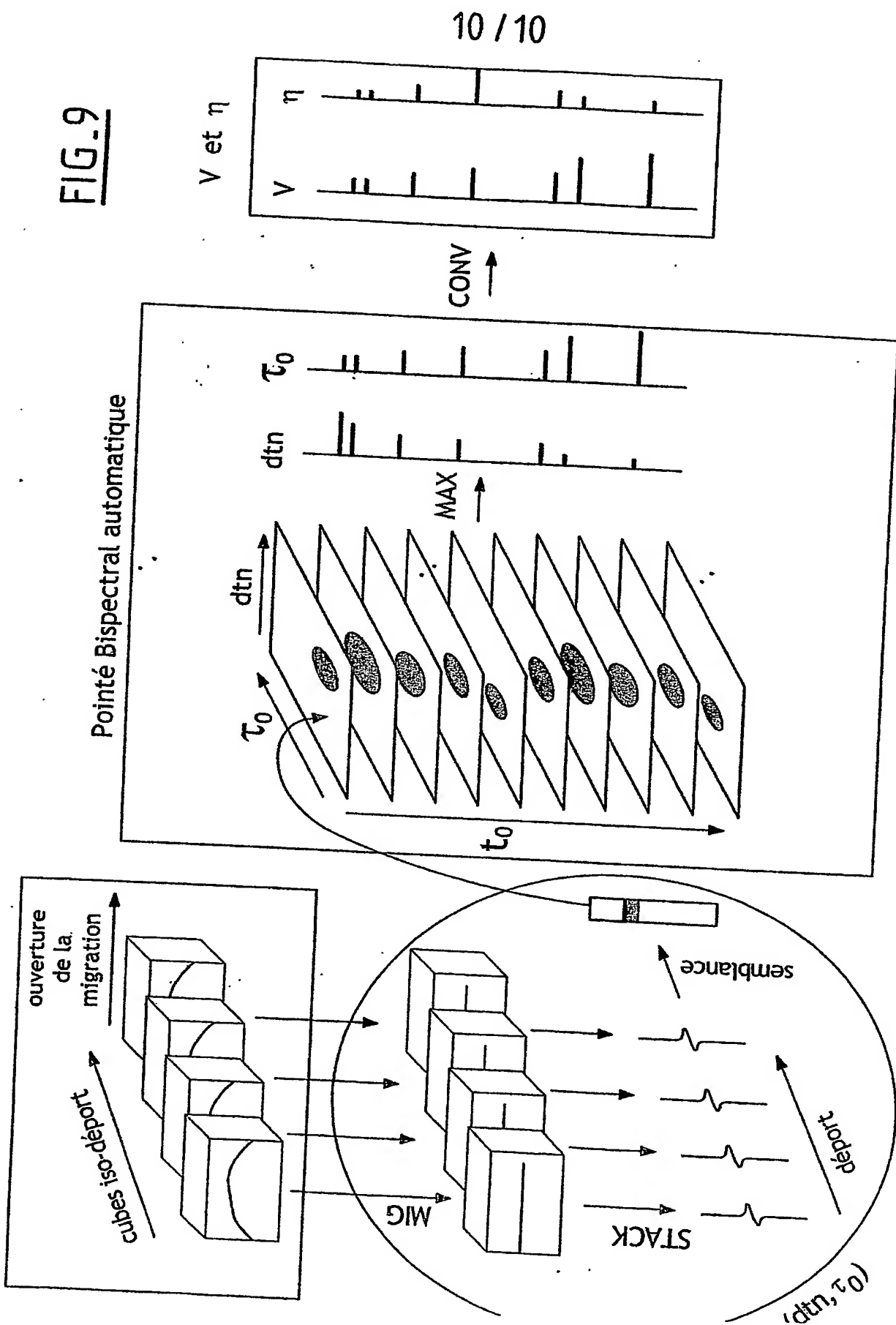
V et  $\eta$



Pointe Bispectrale automatique



**FIG. 9**



DÉPARTEMENT DES BREVETS

26 bis, rue de Saint Pétersbourg  
75800 Paris Cedex 08

Téléphone : 33 (1) 53 04 53 04 Télécopie : 33 (1) 42 94 86 54

**DÉSIGNATION D'INVENTEUR(S)** Page N° - 1 - / 1 -


(À fournir dans le cas où les demandeurs et les inventeurs ne sont pas les mêmes personnes)



Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

DB 113 W / 270601

<b>Vos références pour ce dossier (facultatif)</b>		240555 D21197 TM
<b>N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL</b>		0308861
<b>TITRE DE L'INVENTION</b> (200 caractères ou espaces maximum)		
PROCÉDE DE POINTE BISPECTRAL DES PARAMETRES DE CORRECTION D'OBLIQUE ANELLIPTIQUE		
<b>LE(S) DEMANDEUR(S) :</b>		
COMPAGNIE GENERALE DE GEOPHYSIQUE : 1, rue léon Migaux 91300 MASSY - FRANCE.		
<b>DESIGNE(NT) EN TANT QU'INVENTEUR(S) :</b>		
<b>1</b>	Nom	SILIQI Risto
	Prénoms	
Adresse	Rue	29, rue Saint-André des Arts
	Code postal et ville	75006 PARIS, France
Société d'appartenance (facultatif)		
<b>2</b>	Nom	
	Prénoms	
Adresse	Rue	
	Code postal et ville	
Société d'appartenance (facultatif)		
<b>3</b>	Nom	
	Prénoms	
Adresse	Rue	
	Code postal et ville	
Société d'appartenance (facultatif)		
S'il y a plus de trois inventeurs, utilisez plusieurs formulaires. Indiquez en haut à droite le N° de la page suivi du nombre de pages.		
<b>DATE ET SIGNATURE(S)</b> <b>DU (DES) DEMANDEUR(S)</b> <b>OU DU MANDATAIRE</b> (Nom et qualité du signataire)		

  
92-1284

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**